

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESEN (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
4. September 2003 (04.09.2003)

PCT

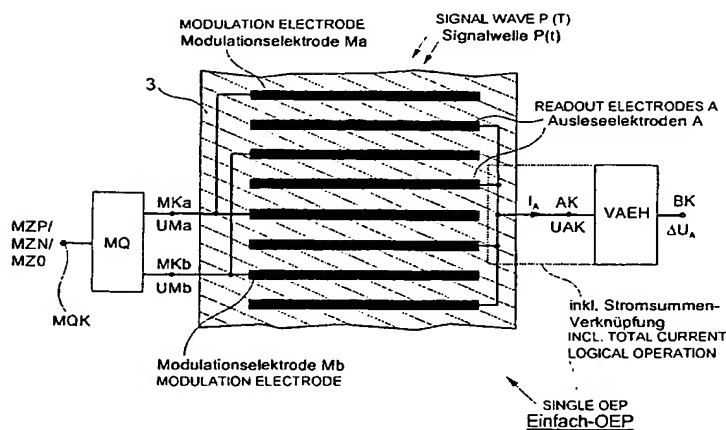
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/073602 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H03D 9/06 (71) Anmelder und  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/00542 (72) Erfinder: SCHWARTE, Rudolf [DE/DE]; Kreuztaler Str.  
56, 57250 Netphen (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 21. Februar 2003 (21.02.2003) (74) Anwälte: WEBER, Dieter usw.; Postfach 61 45, 65051  
Wiesbaden (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,  
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,  
(30) Angaben zur Priorität: 102 07 610.3 22. Februar 2002 (22.02.2002) DE LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,  
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETECTING AND PROCESSING ELECTRIC AND OPTICAL SIGNALS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERFASSUNG UND VERARBEITUNG ELEKTRISCHER UND  
OPTISCHER SIGNALE



(57) Abstract: The invention relates to a method for detecting and/or processing signal waves that produce charge carriers in an article sensitive to the signal waves, said charge carriers inducing a signal current in at least one readout electrode. At least two modulation electrodes are provided, at least one of which is disposed in the proximity of the at least one readout electrode or to another readout electrode in such a manner that, depending on the polarity sign of the modulation voltage of the respective modulation electrode, the current flowing across the associated readout electrode is positive or negative. The invention further relates to a device for detecting and processing signal waves. Said device comprises an OEP article that is sensitive to the signal waves, in which article the signal waves produce charge carriers, and at least one readout electrode (AK) that is linked with the

charge carrier range of the article. At least two modulation electrodes (MKa, MKb) are provided, at least one of which is disposed in the proximity of the at least one readout electrode (AK) and the other in the proximity either of the same readout electrode (AK) or of another readout electrode (AK2). The aim of the invention is to provide a method and a device that is capable of interlinking various optical and/or electronic signals in a logically digital or analogous manner or to detect the course of optical signals by scanning (time interval measurements). For this purpose, the modulation electrodes are modulated with relatively freely selectable voltage amplitude and/or phase relation, whereby the readout currents produced by the modulation voltages of the two modulation electrodes are additively coupled. The inventive device is characterized in that the modulation electrodes are disposed relative to the readout electrode(s) in such a manner that, depending on the polarity sign of the modulation voltages of the respective modulation electrode, the current flowing across the associated readout electrode is positive or negative and that at least one device is provided by which the relative phase relation and/or the voltage amplitude of the two modulation voltages can be freely adjusted.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung und/oder Verarbeitung von Signalwellen, die in einem auf die Signalwellen empfindlichen Gegenstand Ladungsträger erzeugen, die in mindestens einer Ausleseelektrode einen Signalstrom hervorrufen, wobei mindestens zwei Modulationselektroden vorgesehen sind, von denen mindestens eine in räumlicher Nähe zu der mindestens einen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/073602 A2



SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

Ausleseelektrode, und die andere Modulationselektrode in räumlicher Nähe entweder zu derselben Ausleseelektrode oder zu einer weiteren Ausleseelektrode derart angeordnet sind, dass in Abhängigkeit vom Vorzeichen der Modulationsspannung der jeweiligen Modulationselektrode der über die zugehörige Ausleseelektrode fließende Strom positiv oder negativ ist. Des weiteren betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Erfassung und Verarbeitung von Signalwellen, mit einem auf die Signalwellen empfindlichen Gegenstand OEP, in welchem die Signalwellen Ladungsträger erzeugen, und mit mindestens einer mit dem Ladungsträgerbereich des Gegenstandes verbundenen Ausleseelektrode (AK), wobei mindestens zwei Modulationselektroden (MKa, MKb) vorgesehen sind, von denen mindestens eine in räumlicher Nähe zu der mindestens einen Ausleseelektrode (AK) und die andere in räumlicher Nähe entweder zu derselben Ausleseelektrode (AK) oder zu einer weiteren Ausleseelektrode (AK2) angeordnet ist. Um ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, das in der Lage ist, verschiedene optische und/oder elektronische Signale miteinander logisch digital oder analog zu verknüpfen oder auch den Verlauf optischer Signale durch Abtasten (Kurzzeitmessungen) zu erfassen, wird hinsichtlich des Verfahrens vorgeschlagen, dass die Modulationselektroden mit relativ zueinander frei wählbarer Spannungsamplitude und/oder Phasenbeziehung moduliert werden, wobei die durch die Modulationsspannungen beider Modulationselektroden erzeugten Auslestrome additiv gekoppelt werden. Hinsichtlich der Vorrichtung wird vorgeschlagen, dass die Modulationselektroden relativ zu der bzw. den Ausleseelektroden derart angeordnet sind, dass in Abhängigkeit vom Vorzeichen der Modulationsspannungen der jeweiligen Modulationselektroden der über die zugehörige Ausleseelektrode fließende Strom positiv oder negativ ist und dass mindestens eine Einrichtung vorgesehen ist, durch welche die relative Phasenbeziehung und/oder die Spannungsamplitude der beiden Modulationsspannungen frei einstellbar ist.

## Verfahren und Vorrichtung zur Erfassung und Verarbeitung elektrischer und optischer Signale

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erfassung und/oder Verarbeitung von Signalwellen, die in einem auf die Signalwellen empfindlichen Gegenstand Ladungsträger erzeugen, die in mindestens einer Ausleseelektrode einen Signalstrom hervorrufen, wobei mindestens zwei Modulationselektroden vorgesehen sind, von denen mindestens eine in räumlicher Nähe zu der mindestens einen Ausleseelektrode und die andere in räumlicher Nähe entweder zu  
10 derselben Ausleseelektrode oder zu einer weiteren Ausleseelektrode angeordnet sind.

Entsprechende Verfahren und Vorrichtungen sind beispielsweise als "PMD-Elemente" aus der deutschen Patentanmeldung Nr. 196 35 932.5 bzw. der entsprechenden internationalen Patentanmeldung WO 9810255 sowie aus der DE 198 21 974.1 und der korrespondierenden internationalen  
15 Patentanmeldung WO 9960629 bekannt.

Der Stand der Technik für diese inhärente Vorverarbeitung optischer Signalwellen wird z.B. in „Handbook of Computer Vision and Applications“, Volume 1, Sensors and Imaging, edited by Jähne et al., Academic Press, auf S. 463ff, ferner in Dutzenden von Veröffentlichungen über Anwendungen als Laserradar, 3D-Kamera und OE-Schnittstelle für die Kommunikation, z.B. auf der Homepage des  
20 Instituts für Nachrichtenverarbeitung der Uni Siegen, beschrieben.

Dieser bekannte Photomischdetektor (PMD) liefert eine Gegentaktmultiplikation und -korrelation der optischen Signalwelle mit einem elektrischen Gegentaktsignal und erzielt eine hohe Rausch- und Hintergrundlichtunterdrückung und weiterhin eine wesentliche Vereinfachung und Verbesserung von Zeitmessungen. Der bekannte PMD bzw. die damit angewendeten Verfahren sind jedoch relativ  
25 unflexibel und weisen keine Zeitselektion, keinen inhärent schaltbaren Nullzustand des Ausgangssignals und keine analoge oder digitale Verknüpfung mehrerer elektrischer und optischer Eingangssignale auf. Insbesondere ist es mit diesem bekannten Verfahren und dem bekannten PMD nicht möglich, unterschiedliche optische Signale miteinander zu mischen und zu verknüpfen.

30 Das breite Spektrum elektromagnetischer, insbesondere optischer Technologien und Verfahren zur Gewinnung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen besitzt zusammen mit den mikroelektronischen und mikrooptischen Technologien eine Schlüsselfunktion in der Forschung, Entwicklung und Produktion und eine wachsende Bedeutung im internationalen wirtschaftlichen Wettbewerb. Daher spielen die unmittelbare Verarbeitung und Verknüpfung von Strahlungssignalen - insbesondere  
35 optischen Signalen - mit elektrischen Signalen, z.B. opto-elektronischen (OE) Schnittstellenkomponenten zwischen optischen und elektrischen Technologien und Systemen, den OE-Wandlern als Empfängern und den EO-Wandlern als Sendern (z.B. Laserdioden), aber auch optischen Signalen untereinander, eine hervorragende Rolle.

Die beeindruckenden Erfolge und großen Vorteile der optischen Informationsverarbeitung könnten wesentlich besser genutzt und erweitert werden durch ein entsprechendes vielseitiges und intelligentes Verfahren zur optoelektronischen Erfassung, Verarbeitung und Übertragung mit neuen Möglichkeiten zur direkten inhärenten digitalen und analogen Signalverarbeitung der eintreffenden optischen Signalwelle mit elektrischen Signalen oder anderen optischen Signalen, das zudem mikroelektronisch und mikrooptisch integriert in Form von OE-Interface-Komponenten bzw. OE-Prozessor-Komponenten kostengünstig durchführbar ist.

Anzustreben wäre ein OE-Signalverarbeitungsverfahren und seine Durchführung als OE-Signalverarbeitungskomponente, welches gleichermaßen ohne zusätzliche Elektronik und sozusagen auf einem integrierten Sensorelement, daß auf Signalwellen empfindlich ist, die analoge und digitale wechselseitige Verarbeitung und Verknüpfung von optisch/elektrischen, optisch/optischen und elektrisch/elektrischen Signalen und Signalwellen ermöglicht

Gegenüber dem obigen Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung demnach die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, das in der Lage ist, verschiedene optische und/oder elektronische Signale miteinander logisch digital oder analog zu verknüpfen oder auch den Verlauf optischer Signale durch Abtasten (Kurzzeitmessungen) zu erfassen.

Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 1, und hinsichtlich der Vorrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 10 gelöst.

Gemäß der vorliegenden Erfindung gelingt also die Implementierung der ersten OE-Signalverarbeitungsschritte unmittelbar in den Detektionsprozeß einer neuartigen opto-elektronischen Empfangs- und Steuerungskomponente, die zugleich die hohen Anforderungen nach mikroelektronischer Integration, hoher Bandbreite und Geschwindigkeit und niedrigen Kosten erfüllt.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren können die Modulationselektroden mit relativ zueinander frei wählbaren Modulationsspannungen und/oder frei wählbaren Phasenbeziehungen moduliert werden, wobei die durch die Modulationsspannungen beider Modulationselektroden erzeugten Ausleseströme vorzugsweise additiv gekoppelt werden. Hinsichtlich der Vorrichtung wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe dadurch gelöst, daß die Modulationselektroden relativ zu der bzw. den Ausleseelektrode(n) derart angeordnet sind, daß in Abhängigkeit vom Vorzeichen der Modulationsspannung der jeweiligen Modulationselektroden der über die zugehörige Ausleseelektrode fließende Strom positiv oder negativ ist und daß mindestens eine Einrichtung vorgesehen ist, durch welche die relative Phasenbeziehung und/oder die Amplitude der beiden Modulationsspannungen frei einstellbar ist.

Die bekannten PMD-Elemente waren dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Modulationselektroden genau im Gegentakt arbeiteten und dadurch die durch Strahlungseinfall erzeugten Ladungsträger abwechselnd auf je eine von mindestens zwei auf diese Elektroden bzw. Elektrodengruppen leiteten. In einer bevorzugten Variante des PMD-Prinzips wurden die Ausleseströme oder Spannungen der Ausleseelektroden voneinander subtrahiert, um dadurch die Korrelation der Modulationsfrequenz mit einer Frequenz der Signalwellen zu erfassen, die in einer wohldefinierten Beziehung zu der Modulationsfrequenz der Modulationselektroden stehen mußte.

Im Gegensatz hierzu sieht die vorliegende Erfindung in ihrer einfachsten Variante nicht zwingend eine Modulation der Signalwelle vor, wohl aber Modulationselektroden, deren Spannungsverläufe und relative Phasenbeziehung frei einstellbar sind. Da erfindungsgemäß weiterhin vorgesehen ist, daß in Abhängigkeit von dem Vorzeichen der Modulationsspannung der jeweiligen Modulationselektrode der über die zugehörige Ausleseelektrode fließende Strom entweder eindeutig positiv oder eindeutig negativ ist, ist es beispielsweise bei entgegengesetzter Phase der beiden Modulationsspannungen möglich, daß die beiden addierten Ströme der Ausleseelektroden, von denen dann notwendigerweise einer positiv und einer negativ sein muß, einander zumindest teilweise aufheben. Vorzugsweise erfolgt die räumliche Anordnung der Elektroden und die Auswahl der Modulationsspannungen in der Weise, daß bei einem Arbeiten der Modulationselektroden im Gegentakt die beiden positiven und negativen Ausleseströme einander exakt aufheben. Dieses entspricht einer sogenannten "Null-Schaltung" bzw. einem Abschalten des Sensors durch einen sogenannten „Modulationszustand Null“ MZ0. Durch einen Wechsel der Phasenbeziehung wird jedoch sofort ein positiver oder negativer Strom gemessen, je nachdem, in welche Richtung der Phasenwechsel erfolgte.

Damit ist es beispielsweise möglich, konstant oder nur kurzzeitig ein z.B. auf den Sensor einfallendes Lichtsignal zu messen und gegebenenfalls durch jeweiliges kurzzeitiges Umschalten der Phase einer der Ausleseelektroden abzutasten. Die Besonderheit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des entsprechenden Verfahrens liegt darin, daß zwar im Prinzip eine dauerhafte, kontinuierliche Messung stattfindet und in dem Sinne kein eigentliches "Einschalten" und/oder Abschalten des gesamten Sensors erforderlich ist, sondern vielmehr nur die Meßbedingungen kurzzeitig geändert werden, daß zwei sich zuvor aufhebende Signale miteinander addiert werden oder zumindest einander nur noch teilweise aufheben.

Zu der Verwendung der in den Ansprüchen verwendeten Begriffe ist anzumerken, daß ein auf Signalwellen empfindlicher Gegenstand beispielsweise ein lichtempfindlicher Halbleiter oder ein Photowiderstand sein kann oder allgemein ein Halbleiter, der auf elektromagnetische Wellen (einschließlich des Bereiches oberhalb und unterhalb der Wellenlängen des sichtbaren Lichts), sein kann, daß ein solcher Gegenstand auch eine Photokathode sein kann, bei der die Signalwelle freie Elektronen im Vakuum erzeugt, die durch Modulationselektroden wählbar zu mindestens einer Gruppe von Ausleseelektroden hin steuerbar ist. Dieser Gegenstand kann aber auch beispielsweise

eine Mikrokanalplatte sein mit einer vom MCP-PMD (Micro-Channel-Plate PMD) her bekannten PMD-Fingerstruktur [R. Schwarte, EDMO Proceedings, Wien, November 15-17], jedoch in dem erfindungsgemäßen Betrieb als Optoelektronischer Prozessor OEP mit frei wählbaren Modulationszuständen, die insgesamt nicht als lichtempfindliches Halbleitermaterial zu bezeichnen ist. Ein auf Signalwellen empfindlicher Gegenstand ist also generell jeder beliebige Gegenstand, in welchem Signalwellen Ladungsträger erzeugen. Unter "Modulation" in Bezug auf die Modulationselektroden wird im Prinzip jede veränderbare Spannung verstanden, wobei im Extremfall auch Konstantspannungen im Sinne der vorliegenden Erfindung als aperiodische "Modulationsspannungen" angesehen werden, solange nur mindestens eine der beiden Konstantspannungen zumindest kurzzeitig moduliert werden, insbesondere einen Vorzeichenwechsel ausführen kann. In einer bevorzugten Ausführungsform sind jedoch die Modulationsspannungen und insbesondere auch deren Amplituden frei variierbar. Hierdurch ist es insbesondere möglich, etwaige Asymmetrien der räumlich-körperlichen Ausgestaltung und Anordnung der Elektroden auszugleichen und dadurch sicherzustellen, daß bei eingesetzten Vorzeichen der Modulationsspannungen die addierten Ausleseströme einander genau aufheben.

Weiterhin ist es gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, daß mehrere verschiedene Signalströme, die durch unterschiedliche bzw. voneinander getrennte Signalwellen auf getrennten Sensorelementen bzw. -vorrichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung erzeugt werden, miteinander addiert werden. Eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß auch die Signalwellen moduliert werden, wobei die Modulationen der Modulationselektroden in einer wohldefinierten Beziehung zu der Modulation der Signalwellen stehen. Auf diese Weise kann man das oben diskutierte, bereits bekannte PMD-Prinzip mit dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung gleichzeitig anwenden und die Messung von Signalen nach dem Prinzip der vorliegenden Erfindung derart durchführen, daß ausschließlich das Signal der modulierten Signalwelle erfaßt und alle Hintergrundsignale eliminiert werden. Hierzu wird mindestens eines der Grundelemente gemäß der vorliegenden Erfindung, bestehend aus mindestens einer Ausleseelektrode und mindestens zwei Modulationselektroden, in der Weise verwendet, daß beide Modulationselektroden phasengleich einen schnellen Vorzeichenwechsel der Modulationsspannung erfahren, wobei der Auslesestrom über mindestens eine solche Periode (eines Modulationsspannungswechsels) integriert wird.

Es versteht sich, daß dabei die Signalwellen moduliert sein müssen und daß die Modulationen der Modulationselektroden in einer wohldefinierten Beziehung zu der Modulation der Signalwellen stehen.

Sofern Signale von verschiedenen Elementen miteinander verknüpft werden sollen, kann man durch entsprechende Modulation der Phasenbeziehungen der Modulationsspannungen an den verschiedenen Elementen, welche die miteinander zu verknüpfenden Signale empfangen, logische Verknüp-

fungen wie AND (UND), OR (ODER), XOR (AUSSCHLIEßLICH ODER) und deren Verneinungen realisieren.

Besonders bevorzugt ist eine Ausführungsform der Erfindung, bei welcher der auf Signalwellen empfindliche Gegenstand ein lichtempfindliches Halbleitermaterial ist und die Auslese- und Modulations-  
elektroden als Schottky-Kontakte ausgebildet sind. Dabei können Auslese- und Modulationselektroden beispielsweise kammartig ineinandergreifen, es ist aber auch möglich, streifenartig angeordnete Elektroden einer Sorte gruppenweise nebeneinander anzuordnen und jeweils anderen Elektrodentyp (Modulationselektrode oder Ausleseelektrode), ebenfalls streifenartig auszubilden und neben der ersten Streifengruppe anzuordnen. Beispielsweise können zwei oder mehr benachbarte Elektrodenstreifen bzw. -kontakte eine einheitliche Ausleseelektrode bilden und daneben können mehrere Streifen, die elektrisch miteinander verbunden sind, eine Modulationselektrode bilden. Der Begriff „lichtempfindlich“ ist hierbei weit auszulegen und soll keine Beschränkung auf das optische Spektrum bedeuten, solange nur bei dieser Ausführungsform ein Halbleitermaterial zur Verfügung steht, daß auf elektromagnetische Wellen empfindlich ist und in welchem durch die auftreffenden elektromagnetischen Wellen bewegliche Ladungsträger erzeugt werden.

Um das PMD-Prinzip anwenden zu können, muß eine modulierte Signalwelle vorliegen, so daß in der bevorzugten Ausführungsform entweder Einrichtungen zum Aussenden und Modulieren einer Signalwelle vorgesehen sind oder aber mindestens eine PLL-Eingangsschaltung zur Erfassung der Signalmodulation und der Anpassung der Modulationsfrequenz der Modulationselektroden und auch zur Einstellung der Phase der Modulation der Modulationselektrode vorgesehen sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die entsprechende Schaltung verarbeiten im gleichen Prozeß optische Signalwellen und elektrische Signale in vielfältiger über den Stand der Technik hinausgehender Weise. Aufgrund der flexiblen und vielfältigen Funktionen und Prozessierungsmöglichkeiten für optische und elektrische Signale wird im folgenden das erfindungsgemäße Verfahren als Optoelektronisches Prozessor-Prinzip, kurz OEP-Prinzip und die entsprechende Vorrichtung als Optoelektronischer Prozessor, kurz OEP, bezeichnet.

Das OEP-Prinzip ermöglicht insbesondere Folgendes:

- 1) Zwei unabhängige elektrische Signale werden mit einem optischen Signal  $P(t)$  inhärent so verknüpft, daß der zugehörige ausgangsseitige Photostrom bei konstanter Bestrahlung elektrisch steuerbar ist im gesamten Bereich vom größten Negativwert Modulationszustand MZN über den Nullzustand MZ0 bis zum größten Positivwert Modulationszustand MZP, womit die Grundfunktion des sog. Einfach-OEP bezeichnet wird.
- 2) In Erweiterung der Funktionalität werden zwei unabhängige elektrische Signale mit zwei optischen Signalen  $P_1(t)$  und  $P_2(t)$  inhärent so verknüpft, daß der ausgangsseitige Photostrom dieses sog. Zweifach-OEP zusätzlich auch von den beiden optischen Signalen in den Grenzen der verfügbaren Photoströme analog und digital steuerbar zwischen den möglichen

Grenzzuständen MZN und MZP ist. Wenn beim Zweifach-OEP bei gleich wirksamen Leistungen OEP<sub>1</sub> mit P<sub>1</sub> den Strom I<sub>A1</sub> bewirkt und OEP<sub>2</sub> mit P<sub>2</sub> den Strom I<sub>A2</sub> = I<sub>A1</sub> bewirkt, dann ergibt die Kombination z.B. für die Differenzstromauslese : Für (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>) = MZ0 wegen I<sub>A1</sub> - I<sub>A2</sub> = 0 bzw. logisch „0“; für (P<sub>1</sub>, 0) = MZP wegen I<sub>A</sub> = I<sub>A1</sub> entsprechend logisch „1“ und für (0, P<sub>2</sub>) = MZN wegen I<sub>A</sub> = -I<sub>A2</sub> entsprechend logisch „0“ in der Binärlogik bzw. logisch „-1“ in der Ternärlogik.

- 3) Durch weitere Integration und Zusammenschaltung derartiger OEP-Komponenten in unterschiedlichen Technologien entstehen viele neuartige komplexe OE-Signalverarbeitungs- und Messverfahren und -systeme für ein breites Spektrum aktueller Aufgabenstellungen aus der Industrie, Wissenschaft und Gesellschaft.

Anwendbar ist der erfindungsgemäße Optoelektronische Prozessor OEP für die Erweiterung der OE-Signalverarbeitungsfunktionalität, z.B. zur elektrischen Ein- und Abschaltung des Detektors, wie für Zeitmultiplexanwendungen unerlässlich, ferner für eine Erhöhung der Bandbreite eines schaltbaren EO-Mischers von DC bis in den GHz-Bereich, für die Verbesserung und Vereinfachung der Hintergrundlicht-Unterdrückung, die Realisierung schneller optisch-elektrischer und optisch-optischer Gatterfunktionen mit der entsprechenden Basisbandfähigkeit, sowie die Integration räumlich verteilter Verarbeitungsfunktionen, z.B. Parallelkommunikation und dynamische 3D-Messungen in der Raum-Zeit und im Ortsfrequenzbereich für laterale Geschwindigkeitsmessungen. Die neue gesuchte OE-Komponente bietet Anwendungen im Kommunikationsbereich, z.B. für die CDMA/TDMA-Freiraumübertragung, in der optischen Vernetzung einer sog. Optical Backplane anstelle der Multi Layer Backplane sowie in Polymer-Fasernetzwerken mit einer Bitrate von z.B. 1 Gb/s bei gleichzeitig hoher Empfindlichkeit und hohem Füllgrad. Diese Spezifikationen werden heute von keinem bekannten, auch nur annähernd preisgünstigen Bauelement erfüllt.

Gemäß der vorliegenden Erfindung können z.B. schnelle OE-Gatter, OE-Analogschalter, OE-Sampler, OE-Analog-Digital-Umsetzer, OE-Multiplexer und -Demultiplexer, 3D-Kameras auf OEP-Array-Basis kombiniert nach dem Laufzeitprinzip, Triangulationsprinzip und der Doppler verschobenen Ortsfrequenzanalyse, für vielkanalige und kostengünstige OE-Router (Optical Cross-Connect), hochempfindliche und schnelle Mischer und Korrelatoren realisiert werden. Weiterhin können die Anwendungsbereiche und das Spektrum der Signalwellen z.B. durch neue Materialien und Technologien erweitert und zur Durchführung solcher Verfahren entsprechende Vorrichtungen realisiert werden.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, daß – über den bekannten Ladungsschaukelprozess des PMD-Prinzips wesentlich hinausgehend – beim OEP-Prinzip durch analoge und/oder digitale signalverarbeitende Kombination und Verknüpfung von mindestens einer oder mehreren funktionell kooperierenden Signalwellen P(t), die in mindestens einem photosensitiven Bereich Photoladungen generieren, mindestens zwei unabhängige Modulationssignale UM über Modulationselektroden M den Fluß der zugehörigen Photoladungen zu räumlich eng benachbarten Ausleseelektroden A bzw.



auf Massepotential steuern und die Ausleseströme additiv oder subtraktiv zu mindestens einem Ausgangswert, Stromwert  $I_A$  oder Spannungswert  $\Delta U_A$ , in bzw. über eine Ausleseeinheit VAEH zusammengefaßt werden.

Vorteilhaft sind hoch integrierbare OEP-Strukturen, die vzw. von PMD-Strukturen wie MSM(Metal Semiconductor Metal)-PMD sowie  $(p^+n^-p^+)$ - oder  $(n^+p^-n^+)$ -PMD ausgehen - letztere wegen der vorteilhaften Fremdmodulations-Unterstützung durch vzw. isolierte und mit einer geeigneten Offset-Spannung beaufschlagten Metallelektroden auch ME-PMD genannt [R. Schwarte, EDMO Proceedings, Wien, November 15-17, PCT DE 00/03632, PCT DE 01/03914] - und erfindungsgemäß sehr einfache und effektive Schaltungsstrukturen hoher Funktionalität erlauben.

Das erfindungsgemäße OEP-Prinzip ist ebenfalls auf Basis der bekannten PMD-Strukturen durchführbar, insbesondere auf Basis der PG(Photo Gate)-PMD-Technologie [DE196 35 932.5, DE 198 21 974.1] und der MCP (Micro Channel Plate)-PMD-Technologie [PCT DE 00/03632, PCT DE 01/03914]. Dazu werden mindestens zwei Gruppen von PG-PMD-Streifenstrukturpixel  $OEP_1$  und  $OEP_2$  - vzw. verschachtelt - jeweils über die unabhängigen Gegentakmodulations-Spannungen  $\pm U_M$  für die Photo-Gate-Paare gesteuert und alle zugehörigen Ausleseelektroden-Paare  $A_l$  für links und  $A_r$  für rechts der Ladungsschaukel verbunden und mit den Ausleseströmen  $I_{Ar} = I_{Ar1} + I_{Ar2}$  sowie  $I_{Al} = I_{Al1} + I_{Al2}$  zu einem Gegentaktausgang mit dem unipolaren Gegentakstrom  $+I_A = I_{Ar} - I_{Al}$  bzw. zu der entsprechenden Ausgangsspannung  $\Delta U_A$  zusammengefaßt. Diese Durchführung des PG-OEP-Prinzips in CMOS-Technologie weist einige Vorteile der gut beherrschten Technologie und Integrierbarkeit auf, denen aber Nachteile des PG-OEP's in der Schaltgeschwindigkeit entgegen stehen. Zur notwendigen Kompensation des Photostroms der Hintergrundbeleuchtung beim PG - OEP dienen die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Konzepte der Differenzauslese mit reiner Verstärkerfunktion oder mit Integratorfunktion gemäß Fig. 2, mit einer Gleichtaktgegenkopplung des vom PG - PMD her bekannten unvermeidlichen Gegentakstromanteils.

Vorzugsweise werden zusätzliche isolierte und modulierte Metallelektroden ME geeigneter Breite über den Ausleseelektroden A und/oder über den Modulationselektroden M vzw. bei den OEP-Strukturen auf Halbleiterbasis verwendet, die in mehrfacher Hinsicht vorteilhaft sind: 1) Die in den Randbereichen der Elektroden wirksame Abschirmung von Signalwellen verhindert dort eine Ladungsträger-Paarbildung, die bei hohen Frequenzen wegen der weiteren Wege nicht hinreichend genutzt wird und den Modulationskontrast verringert. 2) Die abschirmenden Metallelektroden ME der Modulationselektroden werden über eine geeignete kapazitive Kopplung zur Unterstützung des Modulationsdurchgriffs mit vzw. etwa der gleichen oder einer erhöhten Amplitude des Modulationssignals  $U_M$  und vzw. auf dem gleichen oder einem verschobenen DC-Potential betrieben. 3) Liegt jeweils eine Ausleseelektroden A zwischen zwei gleichsinnig modulierten Modulationselektroden M, so wird ihre abschirmende Metallelektrode ME vzw. über eine geeignete kapazitive Kopplung zur Unterstützung des Modulationsdurchgriffs mit vzw. etwa der gleichen oder einer kleineren Amplitude des Modulationssignals  $U_M$  aber entgegen gesetzter Polarität moduliert und vzw. auf dem gleichen oder einem verschobenen DC-Potential betrieben.

Das erfindungsgemäße OEP-Verfahren und die Vorrichtungen zu seiner Durchführung erlauben u.a. einen Multi-Pixel-Samplingbetrieb vzw. optischer Signalwellen, bei dem sich alle OEP-Pixel zunächst im Modulations-Zustand Null MZ0 befinden. Die beiden durch UMa und UMb steuerbaren Ausgangsströme je OEP-Pixel ergeben durch gegenseitige Kompensation – gleich ob über  $\pm$ Stromsummation gemäß Wired-Or-Auslese oder durch (++) oder (- -)-Differenzstromauslese am Ausgang der Ausleseeinheit jeweils den Ausgangswert Null (Modulationszustand MZ0). Eine Abtastung eines 3D-Bildpunktes der räumlichen Signalwelle erfolgt durch kurzzeitiges Verlassen des Kompensationszustandes MZ0 in Richtung einer positiv oder negativ wählbaren Abtastprobe über MZP bzw. MZN. Dieser nach dem OEP-Prinzip ermöglichte Tastbetrieb bietet viele Vorteile, z.B. für die 3D-Erfassung von räumlichen Szenen insbesondere bei Pulsradarverfahren, die bei der 3D-PMD-Kamera nicht sinnvoll realisierbar sind. Der einfach realisierbare inhärent mögliche OEP-Abtastbetrieb ermöglicht eine 3D-OEP-Kamera mit sehr kurzen Meßzeiten bei hohen pulsförmigen Spitzenleistungen und relativ großen Meßpausen. Gleichzeitig bleiben alle bekannten Vorteile der PMD-Technik des „Correlated Balanced Sampling“ und des „Non Correlated Suppression“ erhalten, wenn das weiter unten erläuterte sog. Differentielle Sampling verwendet wird.

Beim MSM-OEP und vergleichbaren OEP-Strukturen geschieht die Unterdrückung eines optischen Gleichanteils, z.B. des Sonnenlichts, dadurch, daß der zugehörige Auslestestrom bei gleicher Dauer der positiven Modulations- bzw. Abtastzustände MZP und der negativen Modulations- bzw. Abtastzustände MZN, zu gleichen Anteilen hin und zurück fließt, solange das Modulationssignal keinen Gleichanteil aufweist. Diese Hintergrundlicht-Unterdrückung erfolgt ohne einen zusätzlichen schaltungstechnischen Aufwand.

Beim erfindungsgemäßen OEP-Prinzip trifft von mindestens einer Signalquelle PQ mindestens eine Signalwelle auf den insbesondere für Photonen und Elektronen empfindlichen Gegenstand vorzugsweise auf eine regelmäßige Streifenstruktur von Schottky- oder PN-Übergängen auf einem für die Signalwelle sensitiven Bereich eines niedrig dotierten p- oder n-Substrates 3 und generiert Ladungsträger.

Beim OEP-Verfahren auf Basis der MSM-Technologie bilden vorzugsweise streifenförmige Schottky-Dioden in der einfachsten Konfiguration eine Fingerstruktur aus 2 Gruppen von Modulationselektroden Ma und Mb sowie mindestens einer Gruppe von Ausleseelektroden A. Für eine hohe Bandbreite bzw. Schaltgeschwindigkeit sind die Streifenbreiten z.B. nur ca. 1µm breit und die photosensitiven Streifen dazwischen nur etwa doppelt so breit.

Die MSM-OEP- Struktur und die entsprechende pn-Struktur ähnlich dem ME –PMD werden vzw. auf potentialfreiem n<sup>-</sup>- oder p<sup>-</sup>-Substrat bzw. potentialfreier n<sup>-</sup>- oder p<sup>-</sup>-Epitaxieschicht oder in Silikon ON Insulator (SOI) ausgeführt.

Zur Verringerung des Dunkelstroms der Schottky-Übergänge wird die Ausleseelektrode n vorteilhaft in Form möglichst schmaler Doppelstreifen ausgeführt.

Bei der pn-Ausführung wird für das  $p^-/n^-$ -Substrat bzw. eine Sperrspannung zwischen die  $n^+$  bzw.  $p^+$  Elektrodenstreifen und der gegenüberliegenden Anode bzw. Kathode gelegt. Vorteilhaft ist auch die Anwendung von pn-Dioden in einer pip-OEP oder nin-OEP-Struktur anstelle von Schottky-Dioden in der MSM-OEP-Struktur. Dazu sollte der photosensitive  $n^-$  oder  $p^-$ -Bereich der Fingerstruktur eine Floating-Wanne mit geringen Restströmen bilden. Zusätzlich werden die  $p^+$  bzw.  $n^+$ -Elektrodenstreifen bzw. isoliert mit einer Metallelektrode abgedeckt, einerseits um eine nicht nutzbare Ladungsgeneration im Randbereich zu vermeiden und um die Modulation durch ein starkes Driftfeld zu unterstützen. Dazu wird die Breite der Metallelektrode, eine Offsetspannung zwischen Ausleseelektrode A und Metallelektrode für einen effektiven Ladungstransport und eine bzw. kapazitive Kopplung zum Modulationssignal optimiert.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann die Empfindlichkeit des OEP durch Avalanche-Halbleiterstrukturen im OEP und durch Sekundärelektronenvervielfachung erhöht werden.

Letzteres kann z.B. durch Vorschalten einer Photokathode und einer Mikrokanalplatte und bzw. anschließender direkter OEP-Auslese im Vakuum mittels Anodenmatrix oder mit einem CCD- oder CMOS-Pixelarray erfolgen. Erfindungsgemäß wird hierbei eine weitere Verstärkung genutzt, – auch ohne Vorschalten der Mikrokanalplatte – die in der hohen Ionisationswirkung bzw. Quanteneffizienz beschleunigter energiereicher Photoelektronen besteht und die ein Vielfaches des üblichen Photostroms betragen kann, z.B. bis zu Faktor 1000.

Die Basisfolge der Elektroden  $Ma - A - Mb - A$  ist die höchste Form der Verschachtelung und vorteilhaft, wenn der für Signalwellen empfindliche Gegenstand z.B. aus einem Halbleitermaterial ohne pn-Übergänge, z.B. aus Photowiderstandsmaterial, besteht. Vorteilhaft kann auch eine geringere Verschachtelung sein, z.B. mit der Elektrodenfolge  $Ma - A - Ma - A - Ma - A - Mb - A - Mb - A - Mb - A$  usw. Je nach den Datierungen einer pn-OEP-Struktur ist es vorteilhaft, die Ausleseelektroden zwischen Ma und Mb anders, z.B. zur Potentialeinstellung zu verwenden. Je nach gewünschter OEP-Form wird die Folge um ein Vielfaches fortgesetzt und in der Streifenlänge angepaßt. Die Verschachtelung der UMa- und UMb-Steuerbereiche kann sich auch auf die orthogonale Dimension erstrecken, sollte jedoch die für den Nullzustand gewünschte 50%/50%-Signalwellenverteilung von  $P(t)$  erfüllen oder könnte z.B. durch Kalibrierung über die Modulationsspannungsamplituden justiert werden. Mindestens zwei Modulationssignale UMa und UMb modulieren den Transport der Ladungsträgerpaare und bestimmen so den Auslesezusammenstrom IAS der Ausleseelektroden A, der über die Ausleklemme AK an die Ausleseeinheit VAEH und an ein Signal- und Datenverarbeitungssystem SDV zur weiteren Verarbeitung und Auswertung weiter geleitet wird.

Mit dieser einfachsten Form der OEP-Struktur ist es erfindungsgemäß möglich, den Auslesezustrom stationär oder dynamisch schnell über den gesamten Aussteuerbereich des Photostroms  $I_A$  von  $I_{A_{min}}$  bis  $I_{A_{max}} = -I_{A_{min}}$  zu steuern, indem die beiden Modulationsspannungen UMa und UMb entsprechende OEP-bezogene Spannungszustände annehmen. Insbesondere erlaubt das OEP den Auslesezustrom extrem schnell von  $I_{A_{max}}$  auf 0 oder  $I_{A_{min}}$  umzuschalten. Das beliebige Schalten dieser drei Modulationszustände stellt eine Schlüsselfunktion für viele Anwendungen und neuartige Pro-

blemlösungen dar. Im Fall einfacher Stromsummation bzw. Wired-Or-Stromauslese gilt im positiven Modulationszustand MZP gilt mit  $S$  als photosensitiver Empfindlichkeit idealisiert  $IA = +SxP$  für MZP (UMaP, UMbP) wobei UMaP und UMbP die zugehörigen optimierten positiven Modulationsspannungen darstellen. Entsprechendes gilt für den Modulationszustand MZN mit  $IA = -SxP$  für MZN (UMaN, UMbN) und für den Modulationszustand MZ0 mit  $IA = 0$  für MZ0 (UMa0, UMb0) oder näherungsweise (UMaP, UMbN) oder (UMaN, UMbP).

Eine erweiterte Funktionalität und Flexibilität wird mit dem Zweifach- bzw. Twin-OEP erzielt. Dazu bilden zwei Einfach-OEPs eine z.B. runde oder rechteckförmige Empfangsfläche, die in mindestens zwei gleiche Teile OEP1 und OEP2 aufgeteilt ist und wobei die Leistung einer Signalwelle  $P(t)$  auf die beiden OEPs gleich verteilt ist oder jedes OEP eine eigene Signalwelle,  $P_1(t)$  und  $P_2(t)$ , empfängt. Das Zweifach-OEP kann für eine auf OEP1 und OEP2 gleich verteilte Signalwelle  $P(t)$  vorteilhaft auch zugleich als Einfach-OEP verwendet werden. Die beiden zugehörigen Ausleseströme  $IA1$  und  $IA2$  werden vzw. direkt zusammengeführt und am Wired-OR-Ausgang AKS als Ausgangssummenstrom IAS ausgelesen. Zur Erzielung der drei markanten Modulationszustände werden wiederum entsprechende, einmalig abgestimmte Spannungszustände der vier Modulationsspannungen UMa1, UMb1, UMa2, UMb2 ermittelt und jeweils von der Modulationsquelle MQ geschaltet. Im Modulationszustand MZP gilt mit  $S$  als Sensitivität und einer idealisierten Quanteneffizienz von 100% für die Auslesestromsumme  $IAS = IA1 + IA2 = +S \times P1 + S \times P2$  mit MZP (UMa1P, UMb1P, UMa2P, UMb2P) und entsprechend für den Modulationszustand MZN  $IAS = IA1 + IA2 = -SxP1 - SxP2$  mit MZN (UMa1N, UMb1N, UMa2N, UMb2N) und entsprechend für den Modulationszustand MZ0  $IAS = IA1 + IA2 = -SxP1 + SxP2$  oder  $+SxP1 - SxP2 = 0$  mit MZ0 (UMa1P, UMb1N, UMa2P, UMb2N). Vorteilhaft ist auch die Nutzung der Nullzustände MZ0 (MZa1P, MZb1P, MZa2N, MZb2N) und MZ0 (MZa1N, MZb1N, MZa2P, MZb2P)

Unsymmetrien im Aufbau der Fingerstruktur können durch entsprechende Messungen ermittelt und durch Abgleich oder im Rückkopplungsprozeß z.B. durch Korrektur der Modulationszustände eliminiert werden.

Besondere Vorteile bietet eine Ausgestaltung als Vierfach-OEP vzw. eine 4-Quadranten-Form oder eine Viersektoren-Kreisform, die in vielfacher Weise betrieben werden kann. Bei der Entfernungsmessung z.B. werden mehrere flexibel anpaßbare Betriebsweisen ermöglicht. Eine Signalwelle ist gleichmäßig auf OEP1 bis OEP4 verteilt. Somit können z.B. neben den vier Einzelentfernungen der Normalenvektor und der Mittenabstand dieses Oberflächenelements bestimmt werden. Gleichzeitig wird eine gewisse Sicherheit gegen Fehlmessungen erzielt.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann das OEP-Prinzip zum Abtasten von repetierend auftretenden Signalwellen verwendet werden.

Beim OEP-Samplingoszilloskop wird analog zum bekannten elektrischen Samplingoszilloskop vorzugsweise vielkanalig eine vorzugsweise repetierende räumlichen Signalwelle vzw. zeitlich synchron und räumlich parallel durch eine OEP-Matrix Probe für Probe abgetastet und in einem nachgeschalteten Signal- und Datenverarbeitungssystem SDV über Raum und Zeit rekonstruiert.

Der Abtastvorgang geschieht durch kurzzeitiges Umschalten des Einfach-OEP oder des Zweifach-OEP vom Ruhezustand MZ0 in den Abtastzustand MZP mit einer positiv gewichteten Probe oder in den Abtastzustand MZN mit einer negativ gewichteten Probe bei hinreichend gleich verteilter Leistung des Signalwellenbildpunktes auf die Teil-OEPs. Die Einprägung des Abtastimpulses mittels  
5 eines Modulationsspannungspaares geschieht vzw. über CR-Hochpaßglieder.

Durch Kombination positiver und negativer Proben und deren Vorzeichen richtige Gewichtung können Offset-Fehler und Rauschen wesentlich kompensiert werden.

In einer Ausgestaltung des OEP-Samplingverfahrens werden zusätzlich zur Abtastung von Amplitudenproben wahlweise auch Differenzamplitudenproben abgetastet. Dazu wird nach MZ0 kurzzeitig  
10 durch den Modulationszustand MZP zunächst eine erste negative Probe  $Q_{1-}$  und unmittelbar darauf eine zweite positive Probe  $Q_{2+}$  gleicher Abtastdauer im Modulationszustand MZN dem Signalwellenstrom IA entnommen.

Da im nachfolgenden Modulationszustand MZ0 die beiden Proben überlagert werden, entspricht die Differenz der beiden Ladungen  $Q_{1-} + Q_{2+} = \Delta Q$  der positiven Steigungsabtastung des Signalverlaufs  
15 und stellt ein neuartiges Differential-Samplingverfahren mittels OEP dar. Eine Vertauschung der Reihenfolge  $Q_{1+} + Q_{2-} = -\Delta Q$  ergibt eine negative Steigungsabtastung, die vorteilhaft mit der positiven kombiniert werden kann, um Fehlereinflüsse, z.B. Symmetriefehler, zu vermeiden.

Mit einem OEP-Samplingoszilloskop dieser Art können mit einer OEP-Zeile oder OEP-Matrix dynamische räumliche Signalwellen nach dem OEP-Prinzip räumlich und zeitlich abgetastet und vermessen  
20 werden, wobei die Schottky-OEP-Technologie und eine SiGe-OEP-Technologie Bandbreiten von weit über 10GHz erwarten läßt.

Dieses Multi-OEP-Abtastverfahren ermöglicht ebenfalls die Aufnahme räumlicher Bilder und schneller räumlicher Bewegungen nach dem Radarprinzip für repetierende Pulsbestrahlung in Form einer  
25 3D-OEP-Kamera oder eines OEP-Stroboskopes.

In ähnlicher Weise kann analog zum bekannten Digital-Speicher-Oszilloskop (DSO) ein entsprechendes Multi-OEP-DSO auf Basis des OEP-Prinzips zur Vermessung einmaliger Signalwellen realisiert werden, wobei die dort eingesetzte elektrische Abtast-Halte-Schaltung durch mindestens eine  
30 OEP-Abtast-Halte-Schaltung ersetzt wird. Durch den Einsatz einer OEP-Zeile oder OEP-Matrix aus Einfach- oder Zweifach- oder Vierfach OEPs können Signalwellen räumlich und zeitlich vermessen und über die nachgeschalteten Analog-Digital-Wandler digital gespeichert werden. Dabei wird durch Unterteilung eines OEP-Pixels in z.B. 4 oder 9 oder 16 Teil-OEP-Pixel für den gleichen Signalwellenbildpunkt, dieses OEP-Pixel zyklisch nacheinander als 1:4, 1:9, oder 1:16 Demultiplexer betrieben  
35 und die hohe Wandlerrate um diese Faktoren reduziert und damit eine Analog-Digital-Wandlung erst ermöglicht oder die Kosten einer extrem schnellen AD-Wandlung wesentlich gesenkt.

Vorteilhaft aufgrund der hohen Schaltgeschwindigkeit insbesondere des MSM-OEP's ist hierbei auch eine inhärent differentielle Abtastung. Dabei werden der Signalwelle nach dem OEP-Abtastprinzip anstelle jeweils nur einer Abtastprobe unmittelbar nacheinander zwei Proben mit entgegengesetzten Vorzeichen entnommen und überlagert und gespeichert, vzw. auf einer Kapazität

gegen Masse oder im Rückkopplungszweig eines Millerintegrators. Danach wird der so entstehende Differenzwert kurzzeitig für die Weitergabe an die nach geschaltete Signalverarbeitung, z.B. an einen Analog-Digital-Wandler, gehalten und danach mit einem Resetsignal auf Null gesetzt. Dieser Prozeß der entsprechenden Differentiellen OEP-Abtast-Halte-Schaltung setzt sich in schneller Folge fort, wobei durch 4/9/16-fache Unterteilung des OEP-Pixels ein entsprechendes Demultiplexen des gleich verteilten Signalwellenbildpunktes die Abtastrate weiter erhöhen kann.

Auf diese Weise kann eine schnell modulierte Signalwelle als optisches Zeitmultiplexsignal durch die sequentielle Abtastung der gleich verteilten Signalwelle durch eine OEP-Matrix bzw. ein OEP-Pixelarray z.B. auf Basis des OEP-Parallel-Samplers als OEP-Demultiplexer DEMUX eingesetzt werden, der das Multiplexsignal in langsamere parallele elektronische oder optische Kanäle verteilt.

Eine OEP-Matrix kann erfindungsgemäß auch als OEP-Multiplexer MUX eingesetzt werden. Dazu werden mehrere parallele optische Signalwellen über eine OEP-Matrix in zeitlicher räumlicher Folge zyklisch abgetastet und seriell als Strom- oder Spannungswerte oder über eine direkte EO-Umwandlung mittels LED oder Laserdiode als optische Werte im Zeitmultiplex weitergegeben.

Erfindungsgemäße OEP-Pixelarrays können als OEP-Multiplexer MUX optisch parallele Kanäle von Raummultiplexsignalen in schnellere Zeitmultiplexsignale kleinerer Kanalzahl umsetzen.

Eine Kombination eines OEP-Demultiplexers mit vielen sich im Code-, Zeit-, Phasen- und Raummultiplex überlagernden optischen Eingangskanälen mit einer erfindungsgemäßen OEP-Matrix als code-, zeit-, phasen- und raumselektivem OEP-Empfänger und eines OEP-Multiplexers kann vorteilhaft für ein OE-Routing ein OEP-Router mit derartig kombinierter räumlicher TDMA- und CDMA-Technik eingesetzt werden. Dazu wird im Zeitmultiplex- oder im Codemultiplex-Betrieb oder im gemischten Zeit- und Codemultiplexbetrieb von einem Array von Signalquellen SQ z.B. einem Array von ankommenden Signalwellen  $P(t)$ , die eine Matrix von Einfach- oder Zweifach-OEPs z.B. über eine refraktive oder diffraktive Optik möglichst gleich verteilt bestrahlen, von der Router- bzw. Cross-Connect-Steuerung vzw. selektiv und wahlfrei auf Grund übereinstimmender Sende- und Empfangszeiten und/oder übereinstimmender Codierung und Phase durchgeschaltet.

Das selektive wahlfreie OE-Durchschalten bzw. Vermitteln vieler paralleler Eingangskanäle, z.B. eines Arrays von optischen Fasereingängen oder eines LED- oder VCSEL-Arrays auf ein OEP-Array mit zunächst elektronischen und nachfolgend wahlweise optischen Ausgangskanälen, kann mittels einer Freiraumausbreitung über größere Abstände und über Reflexionen der jeweiligen Raumbegrenzung z.B. in einem Büroraum, einem Fahrzeugraum, einem Gehäuseraum oder in einer vzw. optisch transparenten bzw. semitransparenten Trägerplatte (Optical Backplane) erfolgen. Dabei kann zwischen allen möglichen Kanälen von einem Signalquellenarray zu allen Kanälen eines OEP-Empfangsarrays eine wahlfreie Selektion und Durchschaltung z.B. im Codemultiplex und / oder im Zeitmultiplex und/oder im Frequenzmultiplex erfolgen.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung betrifft die Verknüpfung der elektrischen und optischen Signale durch logische Gatter- und Speicherfunktionen, die in ihrer Vielfalt nur beispielhaft beschrie-

ben werden können. Werden z.B. zwei Signalwellen P1 und P2 auf ein Zweifach-OEP – erweiterbar auf ein Vielfaches von Signalwellen und Zweifach-OEPs - mit jeweils einer Wired-OR-Verknüpfung WOR der Ausleseströme und einer Stromauslese durch einen Strom-Spannungsverstärker  $V_R = U_{out}/I_{AS}$  mit dem Ausgang  $U_{out}$ , einem nachgeschalteten Absolutglied ABS, vzw. ein schneller von  $U_{out}$  komplementär angesteuerter Emitter- oder Source-Folger-Paar mit verbundenem gemeinsamen Ausgang  $IU_{out}|$  und einem nachgeschalteten elektrooptischen Wandler zur Umsetzung von  $IU_{out}|$  in  $P_{out}$ , vzw. eine LED oder Laserdiode, die vzw. direkt z.B. auf einer GaAS- oder GaInASP-OEP-Struktur integriert sein kann, gegeben, so entstehen folgende Möglichkeiten zur Signalverknüpfung: Durch Umschalten der drei Modulationszustände können die logischen Eigenschaften flexibel verändert werden. Für die Modulationszustände MZP für P1 und MZN für P2 oder umgekehrt ergibt sich folgende logische Funktionstabelle, bei der vorteilhaft auch ternäre Zustände genutzt werden können, die hier aber nur bezüglich einer binären Logik betrachtet werden sollen und für den Ausgang  $IU_{out}|$  und  $P_{out}$  eine direkte optische OEP-XOR-Verknüpfung von P1 und P2 erzeugen:

OEP-XOR-Gatter	P1	P2	Uout	$IU_{out} $ / $P_{out}$
Für MZP/MZN bzw. für MZN/ MZP	0	0	0	0
	1	0	1	1
	0	1	-1	1
	1	1	0	0

Tabelle 1

Diese OEP-Logikstruktur kann relativ einfach, flexibel und extrem schnell in ihrer Funktion umgeschaltet werden, z.B. durch die Modulationszustände MZP für P1 und P2 in ein OEP-OR-Gatterfunktion entsprechend der folgenden Wahrheitstabelle, wobei hier die binäre Logik betrachtet wird und die erfindungsgemäßen Möglichkeiten zur Nutzung der ternären Zustände nicht weiter veranschaulicht werden:

OEP-OR-Gatter	P1	P2	Uout	$IU_{out} $ / $P_{out}$
Für MZP/MZP	0	0	0	0
	1	0	1	1
	0	1	1	1
	1	1	2 ( ^1)	2 ( ^1)

Tabelle 2

Für die Modulationszustände MZN/MZN für die beiden Modulationsspannungspaare der Teil-OEPs ergibt sich auf Grund der Negation aus der OR-Folge [0,1,1,1] eine entsprechende NOR-Folge [1,0,0,0] bzw. für  $\overline{P1}$  und  $\overline{P2}$  eine NAND-Verknüpfung.

Die jeweils letzten Positionen der beiden Tabellen 1 und 2 unten rechts bieten die Möglichkeit einer rein optischen schnellen Auslese elektrischer Logikzustände z.B. aus einem Datenspeicher.

Der abzurufende Zustand z.B. „Low“ = negative und „High“ = positive Spannung wird an die Modulationselektroden M2a/b gelegt und kann aus der optischen Rückmeldung  $P_{out} = \text{Low oder High}$  entsprechend  $UM2a/b = \text{positiv oder negativ}$  abgelesen werden, wenn P1 und P2 beide „High“, daß heißt, wenn beide eingeschaltet sind und  $UM1a/b$  konstant positiv ist.

In ähnlicher Weise können mit dieser beschriebenen Logikstruktur - vereinfacht und ohne Datensicherheitsmaßnahmen betrachtet - Daten extrem schnell optisch in einen Speicher eingegeben und über  $U_{out}$  - ggf. unter Taktableitung aus dem P1-Valid-Signal - z.B. in ein Flipflop eingeschrieben werden, da z.B. mit  $P1 = \text{High}$  und „Valid“, mit  $UM1a/b = \text{positiv}$  und mit  $UM2a/b = \text{negativ}$  der P2-Zustand Low/High unmittelbar an den Ausgang  $U_{out}$  weiter gegeben wird.

Aus der Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten der aufgeführten Logikanwendungen kommt dem XOR-Gatter im Zusammenhang mit Phasenregelkreisen, insbesondere dem Delay-Locked-Loop DLL eine besondere Bedeutung zu.

Das erfindungsgemäße OEP-XOR-Gatter eröffnet völlig neue Möglichkeiten in optischen Systemen z.B. als extrem schneller digitaler inkohärenter Opto-Opto-Mischer für Inkohärent-Optisch-Optische PLL und DLL insbesondere in digitalen Phasenregelkreisen.

OEP-Logikstrukturen eignen sich besonders für den OE-Schnittstellenbereich. Weitere Verarbeitungsschritte z.B. mit Flipflopstrukturen sind z.Zt. in konventioneller Art weit kostengünstiger.

Jedoch besteht erfindungsgemäß die Möglichkeit, durch geeignete Erweiterung dieser OEP-OR-Gatterschaltung mit einfacher oder wechselseitiger elektrischer und/oder optischer Rückkopplung schnelle, optische OEP-Flipflop-Schaltungen OEP-FF in den verschiedenen bekannten Variationen ohmscher und/oder kapazitiver Rückkopplung als bistabiles (D-FF, JK-FF), monostabiles, astabiles Flipflop, und als Schmitt-Trigger zu realisieren. Anwendungsbeispiele im Low Cost-Bereich sind OE-Sensorik, Optischer Sender bzw. Anzeige und OE-Schnittstellen insbesondere druckbare, optisch beschreibbare und optisch auslesbare Etiketten auf Polymerelektronik-Basis und OLED-Basis.

Erfindungsgemäß erlaubt das OEP neben den schnellen Schaltmöglichkeiten, neben den logischen Funktionen und wechselseitigen, teilweise rückgekoppelten Verknüpfungsmöglichkeiten eine extrem schnelle Mischung und Korrelation von Signalwellen, vzw. optischer Signale, mit elektrischen Signalen.

Bei digitalen Modulationssignalen bedeutet diese Mischung bzw. Korrelation, daß das Modulationsspannungspaar im Gegentakt zwischen den Modulationszuständen MZP und MZN geschaltet wird.

Einfach-OEPs bzw. Zweifach-OEPs werden erfindungsgemäß als Mischer und Korrelator von mindestens einem Modulationsspannungspaar an mindestens einer Modulationselektrodengruppe und mindestens einer vzw. modulierten Signalwelle  $P = P_0 + p(t)$  mit einem Gleichanteil  $P_0$  und einem Wechselanteil  $p(t)$  betrieben.

Dabei wird im Idealfall der Auslesestrom jeweils mit  $I_A = I_{Ao} + i_A(t)$  bzw.  $I_{AS} = I_{A1} + I_{A2} = I_{AS_0} + i_{AS}(t)$  zu 100% und symmetrisch durch die Modulationsspannungen  $U_{Ma} = U_{Mao} + u_{ma}(t)$  und  $U_{Mb}$



=  $UM_{bo} + u_{mb}(t)$  mit vzw.  $u_{ma}(t) \equiv u_{mb}(t)$  bzw.  $UM1a = UM1_{ao} + u_{m1a}(t)$  und  $UM1b = UM1_{bo} + u_{m1b}(t)$  mit vzw.  $u_{m1a}(t) \equiv u_{m1b}(t)$  sowie  $UM2a = UM2_{ao} + u_{m2a}(t)$  und  $UM2b = UM2_{bo} + u_{m2b}(t)$  moduliert, wobei ein Symmetrieabgleich der Ausleseströme  $IA1$  und  $IA2$  wahlweise im optischen Bereich erfolgen kann, und der OEP nach Maßgabe der Modulation vzw. zwischen den Modulationszuständen MZP mit positivem Auslesestrom und MZN mit negativem Auslesestrom betrieben.

Beim Zweifach-OEP z.B. mit Wired-OR-Stromauslese kann der Modulationsgrad des Auslesestroms der Signalwelle vzw. bei gleich verteilter Intensitätsverteilung auf den Teil-OEP1 und Teil-OEP2 vom Maximalwert 100% mit  $IAS = IA1 + IA2$  und mit  $IA1 = IA2$  durch eine gegenläufige Unsymmetrie der Tastverhältnisse von MZP1/MZN1 bzw. MZP2/MZN2 linear bis 0%, was dem modulationslosen Nullzustand MZP1/MZN2 oder MZN1/MZP2 und somit in der Summe dem Nullzustand MZ0 entspricht, verringert werden.

Bei der Differenzauslese der Ausleseeinheit werden für den Maximalwert beide Teil-OEPs gegenphasig bzw. komplementär mit MZN/MZP moduliert.

Zur Auswertung des gesuchten Mischproduktes weist die Verknüpfungs- und Ausleseeinheit VAEH vzw. Selektions- und Filtereigenschaften auf, z.B. im Frequenzband für eine bestimmte Mischfrequenz. Der Mischprozeß wird in zahlreichen Anwendungen wie im OE-Lock-in-Verstärker, OE-Phasenregelkreis (OE-PLL), in der Laufzeitmessung von Laserradars, verbunden mit einer Kurzzeitintegration und somit einer Korrelation, und als OE-Frequenzkonverter eingesetzt.

Für das Korrelationsergebnis wird das Mischprodukt im Basisband vzw durch eine Kurzzeitintegration ermittelt, vzw. durch einen Millerintegrator mit Reset Schaltern.

Ein besonderer Vorteil des OEP-Mischers und OEP-Korrelators besteht in der schnellen Umschaltmöglichkeit der Modulationssignale und Modulationszustände durch eine entsprechend schnelle Modulationsquelle MQ.

Vorteilhaft sind vor allem der mögliche Zeitmultiplexbetrieb und der Burst-Betrieb durch das schnelle vollständige An- und das Abschalten des Auslesestroms in den Nullzustand MZ0.

Der Einsatz des neuen OEP-Korrelators erfolgt vorteilhaft in der optischen Nachrichtenübertragung, z.B. in der diffusen Freiraumkommunikation in Hallen und Räumen aber auch in relativ kleinen Gerätegehäusen, in der allgemeinen und mikrosystemtechnischen Optischen Verbindungstechnik und den sog. Optical Backplanes als Multilayer-Verdrahtungsergänzung sowie in leitungsgebundenen optischen Netzen, z.B. Polymerfaser-LAN im Automotive-Bereich. Hierbei wird eine relativ hohe Bandbreite bzw. Bitrate am Ausgang mittels MSM-OEP ermöglicht.

Der relativ niederohmige Eingang der Ausleseschaltung und das geringe Übersprechen des Modulationssignals über die kleinen Sperrschichtkapazitäten z.B. der MSM-Strukturen erlauben kurze Integrationszeiten und damit hohe Bitraten.

Durch Code-, Phasen- und Zeitmultiplexbetrieb (CDMA und TDMA) und weitere Multiplexverfahren in einem solchen Netz kann die Anzahl der Kanäle aufgrund der besonderen Eigenschaften des Correlated und des Non Correlated Balanced Sampling in den Empfangsknoten z.B. auf über 100

erhöht werden. Der Grund liegt in der fast vollständigen Unterdrückung solcher Signalwellen, die nicht mit dem Modulationssignal korrelieren.

In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird für unbekannte Signalwellen der Korrelationsprozeß mit geeigneten Modulationssignalen des OEP dadurch erreicht, daß die Signalwelle erst durch eine geeignete Modulation unmittelbar vor Eintritt in die OEP-Empfangseinrichtung durch eine zusätzliche bzw. in das OEP-System integrierte Modulationsvorrichtung, deren Modulation mit der des OEP in einer bestimmten Beziehung steht, erfolgt.

Die Aufgabe besteht z.B. in der hochempfindlichen und preisgünstigen Erfassung von Wärmebildern. Herkömmliche Wärmebildkameras arbeiten etwa im 3 – 10µm-Wellenlängenbereich mit entsprechend geeigneten Halbleitermaterialien und z.B. einer Kühlung mit flüssigem Stickstoff zur Unterdrückung des starken Wärmerauschens des Detektors.

Die einfache Struktur des erfindungsgemäßen OEP-Pixels läßt sich außer in der schnellen MSM-Technologie je nach spektraler Zielsetzung durch viele Halbleiterwerkstoffe und -technologien realisieren, z.B. in Si-Bipolartechnologie (die bzw. metallischen Streifenstrukturen decken dabei z.B. n<sup>+</sup>-Kathodenstreifen über p<sup>-</sup>-Silizium ab. Für den fernen Infrarot- und für den Wärmestrahlungsbereich kann z.B. Indium-Antimonid InSb und HgCdTe eingesetzt werden. Da die Dunkelströme z.B. durch eine Rechteck-Modulation zwischen den Zuständen MZP und MZN weitgehend durch den Effekt des Correlated Balanced Sampling (CBS) unterdrückt werden, erreicht man auch ohne die übliche teure Kühlung hohe Empfindlichkeiten. Dazu wird bei der Bildaufnahme die einfallende Signalwelle im Takt der Modulation z.B. durch eine rotierende Chopperscheibe oder durch ein Array von Mikrospiegeln (Digital Mirror Devices) mit der gleichen Phase und Frequenz rechteckmoduliert.

OEP-Empfängermaterialien für den Wärmestrahlungsbereich ermöglichen mit modulierbaren Wärmestrahlern, z.B. Quantenkaskadenlasern (QCL) ein OEP-Wärmestrahlungsradar.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung werden ein Verfahren zur Steigerung der Empfindlichkeit der OEP-Empfangseinrichtung und eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens angegeben.

Neben den bekannten und erläuterten Möglichkeiten zur Steigerung der Empfindlichkeit wie spektraler Filterung der Signalwelle, Correlated-Balanced-Sampling usw. kann der OEP-Empfangsfläche, die bzw. aus einer OEP-Zeile oder einer OEP-Matrix besteht, eine Bildverstärkereinheit zur Verstärkung der Intensität und/oder zur spektralen Umsetzung der Signalwelle vorgeschaltet werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Signalwelle zunächst in ihrem räumlichen Querschnitt eines Photonenstroms durch bzw. eine Photokathode direkt oder mittelbar z.B. über eine Szintillatorschicht für den Röntgenbereich in einen entsprechenden Querschnitt eines Elektronenstroms umgewandelt.

Im Vakuum liegt die OEP-Oberflächenstruktur der Photokatodenfläche bzw. als parallele Fläche und zugleich auf positivem Anodenpotential direkt gegenüber. So erfahren die von der Signalwelle ausgelösten Photoelektronen auf der Vakuumseite der Photokathode eine Beschleunigung entsprechend

dem mit  $U_A$  definierten Potentialunterschied von z.B. 10 bis 1000 Volt, der in einfacher Weise steuerbar oder regelbar ist. Die Ionisierungswirkung und Bildung von Ladungsträgerpaaren im sensitiven Bereich 3 wird durch die erhöhte Energie der auftreffenden Elektronen von  $eU_A$  nahezu um ein entsprechendes Maß verstärkt. Die Funktionsweise des OEP-Prinzips wird dabei von einer Signalwelle von vzw. Photonen auf beschleunigte Elektronen bzw. Betastrahlen ausgedehnt.

Die so erzielbare extrem hohe Empfindlichkeit bei gleichzeitig hoher Unterdrückung nicht korrelierter Signalwellen erlaubt vielfältige Messverfahren, z.B. eine verbesserte Infrarot- und Röntgen-Tomographie in der Medizintechnik, wobei die hohe Zeitauflösung des OEP-Arrays eine eigene oder kombinierte Laufzeit-Tomographie über schnelle Infrarotquellen- bzw. Röntgenquellen-Modulation ermöglicht.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann die OEP-Empfindlichkeit durch eine zwischen Photokatode und OEP-Empfangsfläche durchgeführte Elektronenvervielfachung weiter erhöht werden.

Dazu ist z.B. ein Array von Photovervielfachern, vzw. eine Mikrokanalplatte MCP (Micro Channel Plate) vzw. vom gleichen Flächenprofil der Photokathode und der OEP-Empfangsfläche vorgesehen, deren OEP-strukturierte Frontseiten-Metallisierung auf einem ersten Anodenpotential liegt. Ein zweites Anodenpotential gegenüber dem ersten auf der Rückseite der Mikrokanalplatte beschleunigt die Elektronen innerhalb der Mikrokanäle durch eine MCP-Spannung von z.B. 1000 Volt, wodurch eine Sekundärelektronenvervielfachung mit etwa 1000-facher Stromverstärkung erzielt wird. Die Oberflächenstruktur des OEP liegt auf einem dritten Anodenpotential von z.B. 10 – >1000V und kann so zu einer weiteren regelbaren Verstärkung durch die Photoelektronenenergie mit bis zu 1000-facher Stromverstärkung beitragen.

Ein solcher OEP-Infrarot-Bildverstärker oder OEP- Röntgen-Bildverstärker erzielt auf kleinstem Raum extreme Verstärkungen mit dem Vorteil der Zeitselektion und Störstrahlungsunterdrückung. Als getastete OEP-3D-Bildverstärkerkamera sind auf diese Weise erfindungsgemäß Reichweiten im km-Bereich z.B. mit Anwendungsmöglichkeiten in der Luftdatenvermessung und in der Luft-, Raum- und Seefahrt erzielbar.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann eine Entfernungsmessung nach dem Laserradarprinzip mit einer lateralen Geschwindigkeitsmessung vorteilhaft in einer integrierenden Funktionsweise und zu einem integrierten Gerät vereint werden.

Dabei arbeitet ein OEP-Array zeitweilig im Modus eines pixelweise bzw. räumlich parallelen Korrelationsempfanges im Zeitbereich und zeitweilig im Modus eines zeitlich parallelen Korrelationsempfanges im Ortsbereich. Erstere eignet sich optimal für die Abstandsmessung und deren erste Ableitung, die orthogonale Geschwindigkeitsmessung  $v_{rad}$  über die Echolaufzeit einer die Signalwelle rückstreuenden Oberfläche und letztere optimal für eine an sich bekannte laterale Geschwindigkeitsmessung  $v_{lat}(v_x, v_y)$  dieser Oberfläche.

Die zeitliche Korrelation je OEP-Pixel realisiert für die einfallende Signalwelle eine Filterung und Messung im Zeit- und Frequenzbereich und bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit die Bildpunkt-Tiefe.

Die OEP-Matrix realisiert erfindungsgemäß eine laterale räumliche Korrelation z.B. für die einfallende Signalwelle eines zufälligen Bodenbildes mit einem Testmuster bzw. Gewichtungsmuster konstanter MZP- und MZN-Zustände bzw. eine Filterung und Messung im Ortsbereich und im Ortsfrequenzbereich in aufeinander folgenden Schritten. Dabei wird die Signalwelle des Bodenbildes  $P(x,y)$  bzw. ihre 2D-Fourier-Transformierte  $P(f_x, f_y)$  zum Zeitpunkt  $t_i$  mit der Gewichtung  $G(x,y)$  eines Testmusters, z.B. durch eine regelmäßige OEP-Matrix im Ortsbereich mit  $P(x,y) \cdot G(-x,-y)$ , korreliert bzw. im Ortsfrequenzbereich mit der 2D-Fourier-Transformierten gemäß  $P(f_x, f_y) \times G^*(f_x, f_y)$  multipliziert. Erfindungsgemäß werden beide Möglichkeiten mit dem gleichen OEP-Array durch Umschaltung der OEP-Funktionen und spezifischer Auswertung vorgeschlagen und können in einem „Motion-over-Ground“- OEP-Sensor vereinigt werden, wie z.B. für die Sicherheit im Straßenverkehr von großer Bedeutung.

Beispielhaft ausgehend von einer OEP-Matrix werden drei Betriebsarten realisiert, 1) die einer OEP-3D-Kamera mit räumlicher Tiefenmessung wie in zahlreichen Veröffentlichungen zur PMD-3D-Kamera beschrieben und mit der 3D-OEP-Kamera vorteilhaft realisierbar, 2) die einer geregelten, situationsbedingten Nullschaltung für einen von der Leistungsbilanz her optimierten Burst-Betrieb und 3) die vektorielle Laterale Geschwindigkeitsmessung.

Zur dritten Betriebsart wird zunächst z.B. von einem OEP-Streifenmuster quer zur Fahrtrichtung  $x$  oder einem Streifenmuster senkrecht dazu oder von einem OEP-Schachbrettmuster als Testmuster ausgegangen, bei denen z.B. alle hellen Streifen bzw. Felder im MZP-Zustand einen zugehörigen positiven Photostrom liefern, während die dunklen Felder im MZN-Zustand einen negativen Photostrom liefern. Die Ausleseströme werden bzgl. der zu messenden Geschwindigkeitsrichtung im Gegenteil zusammengefaßt, beim OEP-Schachbrettmuster geteilt für zwei Richtungen. Es filtert entsprechend seiner Abbildung auf einer Oberfläche als zweidimensionales Ortsfilter bzw. Ortsfrequenzfilter mit der abgebildeten OEP-Kantenlänge  $D_x$  und  $D_y$  als halber Musterperiode und den entsprechenden Ortsfrequenzen  $f_{D_x} = 1/2D_x$  und  $f_{D_y} = 1/2D_y$  das erfaßte Bodenbild bezüglich der  $f_{D_x}$ - und  $f_{D_y}$ -Spektralkomponenten. Ohne Lateralbewegung wird die Amplitude  $A_x$  bzw.  $A_y$  der Leistungsdichten bei diesen Ortsfrequenzen gemessen.

Bei einer Bewegung der 3D-OEP-Kamera im lateralen Betriebszuständen z.B. über einen beleuchteten Boden wechselt die Phase bzw. Amplitude im Hell-Dunkel-Wechsel mit der Dauer  $T_l = 2D/v$  bzw. mit der Zeitfrequenz  $f_l = 1/T_l$ . Damit ergeben sich die gesuchten Geschwindigkeiten als vektorielle Komponenten einer Längs- und Querkomponenten der Geschwindigkeit eines Fahrzeugs

$$v_x = 2D_x/T_{lx} = f_{lx}/f_{D_x} \text{ und } v_y = 2D_y/T_{ly} = f_{ly}/f_{D_y}$$

Da die abgebildete Kantenlänge  $D$  des OEP-Pixels über den optischen Maßstabsfaktor der 3D-Kamera vom Abstand abhängt, ist zusätzlich intermittierend oder zumindest mit Teilen der OEP-

Matrix eine Abstandsmessung durchzuführen, die erfindungsgemäß im Zeitmultiplex sequentiell oder im Raummultiplex parallel erfolgen kann.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird vorgeschlagen, erfindungsgemäße OEP-Doppelfunktion-Sensoren dieser Art bei Fahrzeugen vorzugsweise in peripheren Fahrzeugteilen, insbesondere in den Außenspiegeln und beim LKW in Stoßstangen – auch zur automatischen geschwindigkeitsabhängigen Dämpfungsregelung – einzusetzen.

Bei der Integration dieses „Motion-over-Ground“-OEP-Sensors übernimmt dieser vzw. als 3D-Boden-Kamera zugleich die Überwachung der betreffenden Fahrzeugseite.

Die relativ große Spiegelfläche und das Volumen des Außenspiegels wird für mindestens eine weitere rückwärts schauende 3D-Kamera für die Überwachung des Verkehrs im sog. Blinden Winkel und für eine vorwärts messende 3D-Kamera vorgeschlagen. Senden und Empfangen der Signalwellen der „Blind Spot“-3D-OEP-Kamera erfolgt vzw. im Infrarotbereich und zweckmäßig durch die im sichtbaren Bereich transparente Spiegelfläche.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ein OEP-Meßverfahren vorgeschlagen, das sich vorteilhaft zur Vermessung von speziellen Laufzeiten, insbesondere von Relaxationszeiten, bei der Analyse chemischer und biologischer Substanzen eignet. Das prinzipielle Verfahren zur OEP-Stoffanalyse und die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens kann mit der Anwendung der OEP-3D-Kamera verglichen werden. Die zu analysierenden Stoffe, Substanzen, Materialien usw. werden vom Sender moduliert bestrahlt, vzw. sinusförmig und mit mindestens einer Kreisfrequenz  $\omega$ , die für die zu untersuchenden Relaxationszeiten bestimmter Quantenübergänge geeignet ist und in mindestens einem Spektralbereich  $\lambda$ , der zur Anregung dieser Energieübergänge geeignet ist. Das z.B. mit  $\lambda_{UV}$  im Ultraviolettbereich angeregte Material antwortet bei mit der entsprechenden sinusförmigen Rückstreuung oder Transmission bei  $\omega$ , die 1) je nach dessen Fluoreszenzeigenschaften um die Phase  $\phi = \omega \tau$  bzw. Laufzeit  $\tau$  verzögert sein kann in einem weiten Bereich von Femtosekunden bis hin zu Millisekunden und die 2) in anderen, i. Allg. niedrigeren Spektralbereichen des Signalwellenträgers rückstreut bzw. die im Bereich der bestimmter Quantenübergänge spektrale Absorptionsbereiche oder -linien in der Transmission aufweist.

Eine Dimension des OEP-Arrays dient vzw. der Abbildung der spektralen Zerlegung der rückgestreuten oder transmittierten Signalwellen über  $\lambda$  und die andere Dimension dient der parallelen Vermessung vieler Materialproben, z.B. längs einer Probenzeile.

Die gesuchte Kombination von Spektrallinie und Relaxationszeit  $\tau = \phi / \omega$  ermöglicht mit dem OEP-Array große Fortschritte in der schnellen und präzisen Stoffanalyse, insbesondere in der zeitaufgelösten Spektralanalyse.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen anhand der Figuren:

- Fig. 1 ein einfaches OEP-Element, bestehend aus einer zusammengeschalteten Gruppe von Ausleseelektroden und jeweils zwei zusammengeschalteten Gruppen von Modulationselektroden,
- 5 Fig. 2 eine schematische Darstellung des Zweifach-OEPs analog zum Einfach-OEP in Fig. 1, jedoch mit einer Schaltungsausführung einer nachgeschalteten Ausleseseinheit,
- Fig. 3 eine schematische Darstellung der Struktur des Vierfach-OEPs in 4-Quadrantenform,
- 10 Fig. 4 ein Blockschaltbild eines OEP-Sensoriksystems bzw. eines einfachen Kommunikationssystems,
- Fig. 5 das Blockschaltbild eines komplexen OEP-Kommunikationssystems insbesondere für die Freiraumkommunikation,
- 15 Fig. 6 das Blockschaltbild eines Routers bzw. einer optischen Vermittlungseinheit auf OEP-Basis,
- Fig. 7 eine OEP-Schnittstellenkomponente und
- 20 Fig. 8 eine OEP-Ausführung für extrem hohe Empfindlichkeit mit Bildverstärkung.

Fig. 1 zeigt die Oberfläche eines für Signalwellen sensitiven Gegenstands 3 mit einer regelmäßigen Belegung von gleichartigen Modulationselektroden  $M_a$  und  $M_b$ , zwischen denen jeweils die Ausleseelektroden  $A$  liegen. Eine möglichst gleich verteilte Signalwelle  $P(t)$  generiert in dem so gekennzeichneten Modulations- und Auslesebereich zwischen den Elektroden Ladungsträger. Die Modulationselektroden werden von der Modulationsquelle  $MQ$  an den Klemmen  $MK_a$  und  $MK_b$  mit den zugehörigen Modulationsspannungen  $U_{Ma}$  und  $U_{Mb}$  moduliert und beeinflussen so die Verteilung und Richtung des ausgelesenen Ladungsträgerstroms  $I_A$  an der Ausleseklemme  $AK$ . Das Auslesepotential  $U_{AK}$  wird vzw. zu Null bzw. auf Massepotential mittels einer niederohmigen Ausleseseinheit  $VAEH$  gewählt. Markante Modulationszustände, die über die Eingangsklemme  $MQK$  der Modulationsquelle  $MQ$  vorgegeben werden können, sind erstens der mit  $MZP$  bezeichnete Zustand mit maximal positivem Stromzustand  $I_{Amax}$ , zweitens  $MZN$  mit maximal negativem Stromzustand  $I_{Amin}$  und drittens der Kompensations- oder Nullzustand  $MZO$  mit  $I_A = 0$ .

30 Bei diesem dargestellten Einfach-OEP wird eine Nullschaltung im Modulationszustand  $MZO$  mit  $I_A = 0$  dadurch erreicht, daß Unsymmetrien der Modulationsspannungen einen Stromausgleich zwischen den kurzschlußmäßig verbundenen Ausleseelektroden stattfindet. Hier ist aus zeichnerischen Gründen die maximale Verschachtelung der beiden Gruppen von Modulationselektroden gewählt, die in der Praxis bei z.B. 50 bis 100 Streifenelektroden nicht erforderlich ist.

Weiterhin wird in Fig. 1 durch die strichlierte Ausdehnung der Verknüpfung und Ausleseseinheit VAEH verdeutlicht, daß beim Einfach-OEP durch Stromsummen-Verknüpfung bereits vor der weiteren Signalverarbeitung eine OEP-inhärente Verknüpfung der verschieden beeinflussbaren Ausleseströme auf dem OEP-Element stattfindet.

5

Wie in Fig. 2 dargestellt können die prinzipiell gleichen Eigenschaften auch mit einer Aufteilung der OEP-Struktur in zwei Teil-OEPs, mit dem sog. Zweifach-OEP erzielt werden. Dabei wird zunächst von einer einzigen Signalwelle  $P(t)$  mit gleich verteilter Leistung ausgegangen. Die Summe der Ströme kann durch eine Wired-OR-Schaltung WOR an der entsprechenden Ausleklemme AKS zusammengefaßt werden. Durch gleichsinnige oder gegensinnige Modulation der Ströme der beiden Teil-OEPs 1 und 2 können diese in der Summe von  $I_{\max}$  über Null bis  $I_{\min}$  gesteuert werden.

10

Die beiden Ströme  $I_{A1}$  und  $I_{A2}$  können auch getrennt von einer Verknüpfungs- und Ausleseseinheit VAEH – wie in Fig. 2 alternativ zur Wired-OR-Auslese WOR dargestellt – von einem Differenz-Millerintegrator mit den beiden Operationsverstärkern  $V$  ausgelesen werden. Das entspricht der Wirkung einer Subtraktion der Ströme, und man erhält den Nullzustand MZ0 mit der Kombination MZP1/MZP2 oder MZN1/MZN2.

15

Die dabei unvermeidlich entstehenden Gleichtaktanteile laden die Auslesekapazitäten  $C_{A1}$  und  $C_{A2}$  und nach der Verzögerungszeit der Operationsverstärker  $V$  die Millerkapazitäten  $C_{f1}$  und  $C_{f2}$  gleichsinnig auf, ohne daß dadurch eine Gegentaktausgangsspannung  $\Delta U_A$ , die für die Auswertung z.B. der Korrelationsfunktion oder logischen Verknüpfung von optischen und elektrischen Signalen interessiert, verfälscht wird.

20

Dauerzustände dieser Art können jedoch zur Gleichtaktübersteuerung der Schaltung führen. Sie werden je nach Betriebsweise der OEP-Schaltung zyklisch durch die Reset-Schalter RS der Millerkapazitäten  $C_{f1}$  und  $C_{f2}$  vermieden. Sicher und hinreichend vermieden wird die Gleichtaktübersteuerung durch die angegebene erfindungsgemäße Schaltung über die  $R_{ev}$ - $R_{ev}$ -Brückenschaltung, die nur den ausgangsseitigen Gleichtaktanteil  $U_{ev}$  abgreift und ihn verstärkt über  $R1$  und  $R2$  gegengekoppelt und als kompensierenden Strom an den beiden Verstärkereingängen  $AK1$  und  $AK2$  einspeist. In dieser Gegenkopplungsschaltung kann die Verstärkung der Steuergröße  $U_{ev}$  und kompensierende symmetrische Stromeinspeisung an den Klemmen  $AK1$  und  $AK2$  vorteilhaft 1) über eine Schaltung GKV2, eine gesteuerte Spannungsquelle  $VU_{ev}$ , an den Ausgangsklemmen  $G1$  und  $G2$  oder 2) über die Schaltung GKV3, eine gesteuerte Stromquelle  $SU_{ev}$ , erfolgen.

25

3) Eine hochsymmetrische Gegenkopplung und Stromaufteilung kann über einen FET-Differenzverstärker als Gate-Basisverstärker GBV erfolgen, der auf kleinstem Raum zweckmäßig unter Einsparung von  $R1$  und  $R2$  mikroelektronisch integriert wird - vorteilhaft mit einer über gleiche Gate-Spannungen  $UGa$  und  $UGb$ , über den Innenwiderstand  $R_{ev}/2$  der Gleichtaktspannungsquelle  $U_{ev}$  und über die FET-Steilheiten einstellbare Stromverstärkung.

30

An den beiden Klemmen  $K1$  und  $K2$  kann das kapazitive Übersprechen der Modulationssignale auf die Ausleseelektroden durch entsprechende Gegentaktsignale an  $C_{K1}$  und  $C_{K2}$  kompensiert werden.

**Fig. 3** stellt schematisch in der Aufsicht ein Vierfach-OEP dar, das sowohl die Funktion des Einfach-OEP als auch des Zweifach-OEP zu ersetzen vermag und flexibel für eine 4-, 2- und 1-fach Messung dient. Darüber hinaus wird die Bestimmung der Phase einer Korrelationsfunktion durch die mögliche Parallelmessung – z.B. IQ-Messung bei Sinussignalen – in einem Vorgang bestimmt. Die orthogonale Ausrichtung der benachbarten Fingerstrukturen führt vorteilhaft zu minimalem Übersprechen.

**Fig. 4** veranschaulicht in einem Blockschaltbild den Aufbau eines OEP-Sensorik-Systems am Beispiel eines Zweifach-OEPs, der hier stellvertretend für eine OEP-Zeile oder OEP-Matrix steht.

Eine optische Signalquelle SQ wird über die Modulationsquelle MQ mit wählbarer Verzögerung  $\Delta T$  bzw.  $\Delta \phi$  moduliert und sendet die Signalwelle  $P_S(t)$  aus. Sie regt z.B. in der Fluoreszenzspektroskopie eine Probe an oder beleuchtet beim Laserradar eine 3D-Szene. Die empfangene Signalwelle  $P(t) = P_1(t) + P_2(t)$  wird durch geeignete Modulationsspannungen, die in Beziehung zur Signalquellenmodulation stehen, demoduliert. Es folgen die Verarbeitungs-/ Verknüpfungs- und Auswerteeinheiten VAEH, Signal- und Datenverarbeitungssystem SDV und Aktoriksystem ASY. Die Steuerung ST sorgt für die Abstimmung und Optimierung der Meßverläufe.

**Fig. 5** stellt schematisch das Blockschaltbild für den Informationsaustausch von zwei Systemen bzw. Netzteilnehmern über OEP-Arrays und LED/Laserdioden-Arrays dar, insbesondere für neue Anwendungen in der Freiraumkommunikation z.B. in der Raumfahrt, innerhalb von Räumen, Fahrzeugen, Geräten und in optisch transparenten Leiterplatten, aber auch in bidirektional genutzten lokalen Polymerfasernetzen. Ein Transmitter/Receiver-System TR1 sendet über das elektro-optische Interface der LEDs oder Laserdioden über den Strahlungsweg 8 über vorwiegend diffuse Streuung codierte Daten an ein OEP-Interface mit einer Mehrzahl von OEP-Empfängern und einem nachgeschalteten Elektroniksystem (EL-System). Der Rückkanal verläuft je nach Anwendung direkt über den Transmitter T2 oder über ein lokales oder Weitverkehrsnetz.

In **Fig. 6** wird vereinfacht ein über die Eingänge ST1-4 gesteuerter Router bzw. eine optische Vermittlungseinheit (Optical Cross Connect) im Blockschaltbild dargestellt. Der serielle Eingangsdatenstrom wird über einen eingangsseitigen Demultiplexer DEMUX und über ein paralleles Transmitter-Interface ITF auf ein LED- bzw. Laserdioden- bzw. VCSEL-Array und weiter über eine diffraktive Optik für eine gleichmäßige Leistungsverteilung auf eine OEP-Matrix gegeben. Die Zuordnung der zu vermittelnden Kanäle geschieht im Code- und Zeitmultiplex. Die parallelen Ausgänge der OEP-Matrix führen über das parallele Receiver-Interface RIF auf einen ausgangsseitigen Multiplexer MUX zur vorwiegend seriellen Ausgabe der gerouteten bzw. vermittelten Datenströme.

**Fig. 7** zeigt schematisch einen neuartigen OEP-Logikbaustein, der beispielhaft demonstrieren soll, wie ein optisch-elektronisches Interface sowohl die Geschwindigkeit wesentlich zu steigern als auch den Aufbau wesentlich zu vereinfachen vermag.



Zwei Signalquellen SQ1 und SQ2 koppeln die Signalwellen P1 und P2 über Lichtwellenleiter LWL auf das Zweifach-OEP (Twin-OEP) mit OEP1 und OEP2.

Die Ausgangsströme IA1 und IA2 werden durch UM1a/b und UM2a/b gesteuert und zu  $I_{AS}$  zusammengeführt. Auf den Strom/Spannungsverstärker  $V_R$  mit positiver Verstärkung und dem Ausgang

5  $U_{out}$  folgen ein Betragsglied ABS mit  $|U_{out}|$  und eine LED/Laserdiode mit  $P_{out}$ .

Diese einfache OEP-Musterschaltung erfüllt vier Funktionen:

1. P1 und P2 sind bzgl.  $|U_{out}|$  und  $P_{out}$  für die Modulationszustände MZ1P/MZ1N logisch über XOR verknüpft
2. Für MZ1P/MZ2P sind P1 und P2 über OR verknüpft.
- 10 3. Mit P1 und P2 „High“ kann ein logischer Zustand UM2a/b als  $P_{out}$  sehr schnell rein optisch ausgelesen werden.
4. Mit P1 „High“ und dem Modulationszustand UM1P/UM2N kann der P2-Zustand rein optisch unmittelbar an  $U_{out}$  weitergegeben und z.B. in einen Speicher eingeschrieben werden.

15 **Fig. 8** skizziert eine Möglichkeit zur Empfindlichkeitssteigerung des OEP-Prinzips.

In einer ersten Ausführung ohne die eingezeichnete Mikro-Kanalplatte MCP besteht der OEP-Bildverstärker aus der linksseitigen Photokathode, auf die die Signalwelle  $P(t)$  trifft. Auf der Vakuum-seite der Photokathode entsteht ein Abbild des Photoneneinfalls als Elektronenaustritt. Durch eine hinreichend positive Spannung der OEP-Empfangsfläche, die als positive Anode gegenüber der

20 Kathode wirkt, treffen die Elektronen mit entsprechend hoher Energie  $eUA$  auf den Photosensitiven Bereich 3. Dieser Energiezuwachs hat eine entsprechende Erhöhung der Paarbildung und damit eine Steigerung der Empfindlichkeit zur Folge.

Durch das Einfügen einer Mikrokanalplatte MCP wie dargestellt, kann bei entsprechenden Betriebsspannungen die Empfindlichkeit weiter erhöht werden.

25 Der rechte Teil in Fig. 8 zeigt schematisch eine Aufsicht auf die Pixelstruktur.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung und/oder Verarbeitung von Signalwellen, die in einem auf die Si-  
5 gnalwellen empfindlichen Gegenstand Ladungsträger erzeugen, die in mindestens einer  
Ausleseelektrode einen Signalstrom hervorrufen, wobei mindestens zwei Modulationselek-  
troden vorgesehen sind, von denen mindestens eine in räumlicher Nähe zu der mindestens  
einen Ausleseelektrode, und die andere Modulationselektrode in räumlicher Nähe entweder  
zu derselben Ausleseelektrode oder zu einer weiteren Ausleseelektrode derart angeordnet  
10 sind, daß in Abhängigkeit vom Vorzeichen der Modulationsspannung der jeweiligen Modula-  
tionselektrode der über die zugehörige Ausleseelektrode fließende Strom positiv oder nega-  
tiv ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Modulationselektroden mit relativ zueinander frei  
wählbarer Spannungsamplitude und/oder Phasenbeziehung moduliert werden, wobei die  
durch die Modulationsspannungen beider Modulationselektroden erzeugten Ausleseströme  
15 additiv gekoppelt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Anordnung der  
Modulationselektroden zu den Ausleseelektroden und/oder die Spannungsamplituden der  
Modulationsspannungen derart gewählt werden, daß bei entgegengesetztem Vorzeichen der  
20 Modulationsspannungen die addierten Ausleseströme sich gegenseitig aufheben.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine der Modulations-  
spannungen eine konstante Spannung ist, während die andere ein frei wählbar wechselndes  
Vorzeichen hat.
- 25 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplituden  
der Modulationsspannungen variierbar sind.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere ver-  
30 schiedene Signalströme, die durch unterschiedliche Signalwellen auf getrennten Elementen  
erzeugt werden, miteinander kombiniert, insbesondere addiert werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei auch die Signalwellen moduliert werden  
und die Modulationen der Modulationselektroden in wohldefinierter Beziehung zu der Modu-  
35 lation der Signalwellen stehen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausleseelektroden und Modu-  
lationselektroden als PMD-Elemente verwendet werden, indem beide Modulationselektroden

phasengleich einen schnellen Vorzeichenwechsel der Modulationsspannung erfahren und der Auslesestrom über mindestens eine solche Periode integriert wird.

- 5 8. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Ausleseelektroden und Modulationselektroden durch Änderung der Phasen- und/oder Amplitudenbeziehungen der Modulationssignale im Wechsel oder parallel als PMD-Elemente und/oder als OEP-Elemente betrieben werden, wobei vorzugsweise die OEP-Elemente in einem Array, die wahlweise durch räumlich wechselnde Modulationszustände MZP und MZN betreibbar sind, eine Musteranalyse oder eine Ortsfrequenzanalyse von Signalwellen durchführen.
- 10 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Verknüpfung von Auslesesignalen verschiedener Ausleseelektroden insbesondere die Addition, Subtraktion bzw. Addition mit variabel einstellbarer Phasenbeziehung sowie logische Verknüpfungen AND, OR, XOR und deren Verneinungen umfaßt.
- 15 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Optoelektronische Prozessor OEP, der vorzugsweise eine niedrige Substratdotierung aufweist, mittels Steuerung durch drei abgestimmte Modulationsspannungszustände drei zugehörige Auslesestromzustände liefert, einen ersten Modulationszustand MZP (UMaP, UMbP) mit positivem, vzw. maximalem Auslesestrom IAP, einen zweiten Modulationszustand MZN (UMaN, UMbN) mit negativem, vzw. minimalem Auslesestrom IAN und einen dritten Modulationszustand MZO(UMaP, UMbN) bzw. MZO(UMaN, UMbP) mit verschwindendem Auslesestrom IA0=0.
- 20 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Integration des Auslesestroms IAS erfolgt und bei dem eine Nullschaltung des integrierten Auslesestroms bzw. der Ausleseladung QS dadurch erfolgt, daß vzw. nach vorangehender Nullschaltung der Ladung QS eine hochfrequente symmetrische Umschaltung der beiden Modulationszustände MZP und MZN erfolgt.
- 25 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–11, dadurch gekennzeichnet, daß die OEP-Streifenstrukturen Avalanche-Halbleiterstrukturen aufweisen, Ionisierungseffekte schneller Elektronen nutzen oder mit Elektronenvervielfachern verbunden sind, bei dem insbesondere die durch die Signalwelle erzeugten Ladungsträger bzw. die Ausleseströme durch Vervielfachung verstärkt werden, zum einen durch den Avalanche-Effekt durch geeignet vorgespannte pn- bzw. Schottky-Übergänge im Halbleitersubstrat, wobei die Modulationsspannungen vzw. in der Amplitude geregelt werden, weiterhin durch Vorschalten einer Photokathode und durch Sekundärelektronenvervielfachung der Photoelektronen im Vakuum mittels Mikrokanalplatten oder Photovervielfachern, wobei entweder das Elektronenabbild zunächst in ein
- 30
- 35

optisches Bild zurück gewandelt wird oder direkt durch die OEP-Struktur ausgelesen wird, wobei im letzteren Fall die Sekundär-Photoeffekte der hochenergetischen Elektronen im OEP-Substrat eine erhebliche Ladungsträgervervielfachung genutzt wird.

- 5 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–11, dadurch gekennzeichnet, daß die Photoelektronen der Photokathode ohne Einsatz einer Mikrokanalplatte unmittelbar auf die OEP-Oberfläche hin abbildend beschleunigt werden und durch Ionisierung und Ladungsträgergeneration eine hohe, über die Beschleunigungsspannung einfach regelbare Verstärkung ermöglichen.
- 0 14. Vorrichtung zur Erfassung und Verarbeitung von Signalwellen, mit einem auf die Signalwellen empfindlichen Gegenstand OEP, in welchem die Signalwellen Ladungsträger erzeugen, und mit mindestens einer mit dem Ladungsträgerbereich des Gegenstandes verbundenen Ausleseelektrode (AK), wobei mindestens zwei Modulationselektroden (MKa, MKb) vorgesehen sind, von denen mindestens eine in räumlicher Nähe zu der mindestens einen Ausleseelektrode (AK) und die andere in räumlicher Nähe entweder zu derselben Ausleseelektrode (AK) oder zu einer weiteren Ausleseelektrode (AK2) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Modulationselektroden relativ zu der bzw. den Ausleseelektroden derart angeordnet sind, daß in Abhängigkeit vom Vorzeichen der Modulationsspannungen der jeweiligen
- 15 Modulationselektroden der über die zugehörige Ausleseelektrode fließende Strom positiv oder negativ ist und daß mindestens eine Einrichtung vorgesehen ist, durch welche die relative Phasenbeziehung und/oder die Spannungsamplitude der beiden Modulationsspannungen frei einstellbar ist.
- 20 15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der lichtempfindliche Gegenstand ein lichtempfindliches Halbleitermaterial ist.
- 25 16. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der lichtempfindliche Gegenstand eine Photokathode ist, ausgestattet mit für den Betrieb im Vakuum geeigneten Modulationselektroden zur Modulation der Photoelektronen in Bezug auf geeignet ausgeführte Ausleseelektroden in mindestens einer Einfach-OEP- oder Zweifach-OEP-Struktur, wobei die Ausleseelektroden vorzugsweise mit einer vorgeschalteten Sekundärelektronenvervielfachung, vorzugsweise als Mikrokanalplatten-Elemente ausgeführt sind und wobei der Auslesestrom mit einer Anodenauslesestruktur oder mit einer entsprechend angepaßten CCD- oder CMOS- oder MSM-Kamerachip-Struktur ausgelesen wird.
- 30 17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Auslese- und Modulationselektroden Metall-Halbleiter-Kontakte bzw. Schottky-Dioden sind.
- 35

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausleseelektroden (AK, AK1, AK2) und mindestens jeweils eine Modulationselektrode (MKa) kammartig ineinandergreifen, wobei die Ausleseelektrode mit einer weiteren, gleichermaßen ausgebildeten Ausleseelektrode verbunden ist, die mit der zweiten Modulationselektrode (MKb) kammartig ineinandergreift.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl voneinander unabhängiger Ausleseelektroden und zugehöriger Modulationselektroden in einem Array angeordnet sind.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß Einrichtungen zur Modulation der Signalwelle bzw. Signalwellen vorgesehen sind.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine OEP-Struktur als PLL- oder DLL-Schaltung ausgeführt ist, und zwar vorzugsweise als Array, z.B. in einem Router, und/oder daß eine PLL- oder DLL-Eingangsschaltung zur Erfassung der Signalmodulation bzw. Codierung und zur Anpassung der Modulationsfrequenz sowie der Phasen der Modulation der Modulationselektroden an die Signalwellenmodulation vorgesehen ist.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die streifenförmigen Modulations- und Ausleseelektroden des Optoelektronischen Prozessors OEP durch Metallelektroden als Schottky-Kontakte bzw. der Breite von 0,1 – 5µm auf sensitivem, der Signalwelle angepaßten Halbleitersubstrat 3, bzw. einem hochohmigen (p<sup>-</sup>)- oder (n<sup>-</sup>)-Substrat oder einer hochohmigen (p<sup>-</sup>)- oder (n<sup>-</sup>)-Epitaxieschicht bzw. mit Zwischenräumen etwa der gleichen bis mehrfachen Breite und bzw. einer an die Eindringtiefe der Signalwelle angepaßten Dicke realisiert werden, wobei das Substrat 3 bzw. auf freiem Potential (Floating Substrate) liegt.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß, die streifenförmigen Modulationselektroden M und Ausleseelektroden A durch (n<sup>+</sup>)- bzw. (p<sup>+</sup>)-Streifen bzw. -Kanäle z.B. der Breite im ca. 0,1 - 5µm-Bereich auf sensitivem, der Signalwelle angepaßten Halbleitersubstrat 3 bzw. der Epitaxieschicht 3, bzw. ein eigenleitendes bis hochohmiges (p<sup>-</sup>)- bzw. (n<sup>-</sup>)-Substrat, das bzw. mit den Streifenelektroden sperrende PN-Übergänge mit tief ausgedehnter Raumladungszone bildet und bzw. mit Zwischenräumen etwa der gleichen bis mehrfachen Breite realisiert werden.
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils die Elektroden M und/oder A durch bzw. isolierte Abschirm-Metallelektroden geeigneter Breite

bedeckt sind und vzw. kapazitiv mit Modulationsquellen verbunden sind, wobei die M-Abschirm-Metallelektroden und die A-Abschirm-Metallelektroden vorzugsweise mit Gegentakt-Modulationsquellen verbunden sind.

- 5 25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Auslese-  
seeinheit VAEH des Einfach-OEP mit der inhärent enthaltenen Verknüpfung der Auslese-  
ströme Einflußbereiche der mindestens zwei Modulationsspannungen bzw. die  
Verknüpfungs- und Ausleseseeinheit VAEH des Mehrfach-OEP eingangsseitig als niederohmi-  
ge Stromausleseschaltung ausgeführt ist.
- 10 26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Strom-  
ausleseschaltung der Teil-OEPs einzeln oder gruppenweise als direkte Stromsummierung  
entsprechend dem Wired-OR-Prinzip, vzw. mit nachfolgend einfachem Millerintegrator für  
Korrelationsanwendungen, ausgeführt ist oder bei dem z.B. zwei Teil-OEPs durch einen Dif-  
15 ferenz-Millerintegrator ausgelesen werden, wobei die Polarität der Modulationsspannungen  
für diese Modulationszustände MZP (positiv/negativ), MZN (negativ/positiv) und MZ0 (beide  
positiv oder beide negativ) gegenüber der Wired-OR-Summation berücksichtigt wird.
- 20 27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die OEP-  
Struktur bzw. die OEP-Funktionalität in Metallelektroden (ME)-pn-Technologie oder in  
Schottky-Technologie mit einem dem Wellenlängenbereich der Signalwelle angepaßten  
Halbleitersubstrat 3, z.B. in Si, vzw. in CMOS-Technologie, GeSi-Quantum-Well-Strukturen,  
GaAs, InGaAsP, InSb, HgCdTe usw. als vzw. hochohmiges n-Substrat oder p-Substrat  
25 ausgeführt ist.
28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß das kapazi-  
tative Übersprechen eines hochfrequenten Modulationssignals von den Modulationselektroden  
auf die Ausleseelektroden und auf die Ausleseklemme AK durch eine entsprechende kapazi-  
tative Kompensation mit einer entsprechenden Gegentaktspannung unterdrückt wird.
- 30 29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwei-  
fach- oder Vierfach-OEPs auf eine OEP-Matrix der Größe M x N erweitert sind, wobei M und  
N ganze Zahlen größer als 1 sind.
- 35 30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß eine Ausle-  
seelektrodengruppe z.B. an der Ausleseklemme AK eine Kapazität CA gegen Masse auf-  
weist und vzw. an einen Transimpedanzverstärker angeschlossen ist, mit einer ohmschen  
Transimpedanz für Logik- und Mischanwendungen und einer kapazitiven Transimpedanz als  
Millerintegrator für Korrelationsanwendungen, wobei die letztere Schaltung mindestens einen

Resetschalter aufweist, und wobei vzw. die gleiche Klemme AK über eine geeignete Kapazität CK zur Kompensation des Übersprechens der Modulationselektroden auf die Ausleseelektroden an eine zur jeweiligen Modulationsspannung komplementäre Spannung angeschlossen ist.

5

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß die OEP-Strukturen auf der Seite der einfallenden Signalwelle mit antireflektiven Beschichtungen und vzw. unter Berücksichtigung der Teil-OEPs mit Mikrolinsen versehen sind und vzw. mit reflektiven Schichten auf der gegenüberliegenden Seite versehen sind und daß die Signalquelle SQ und die OEP-Empfangseinrichtung jeweils mit einer geeigneten Optik versehen sind.

10

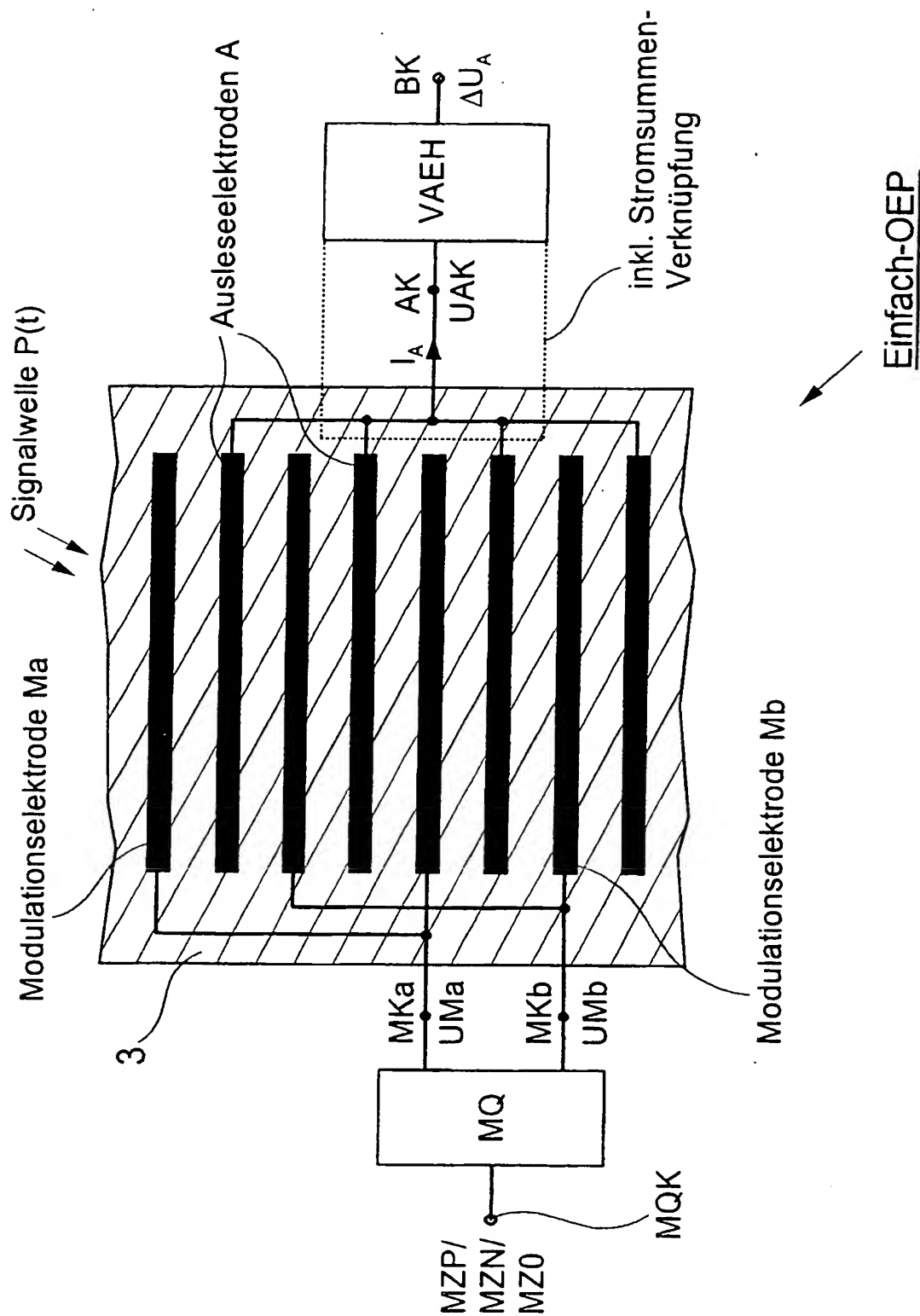


Fig. 1



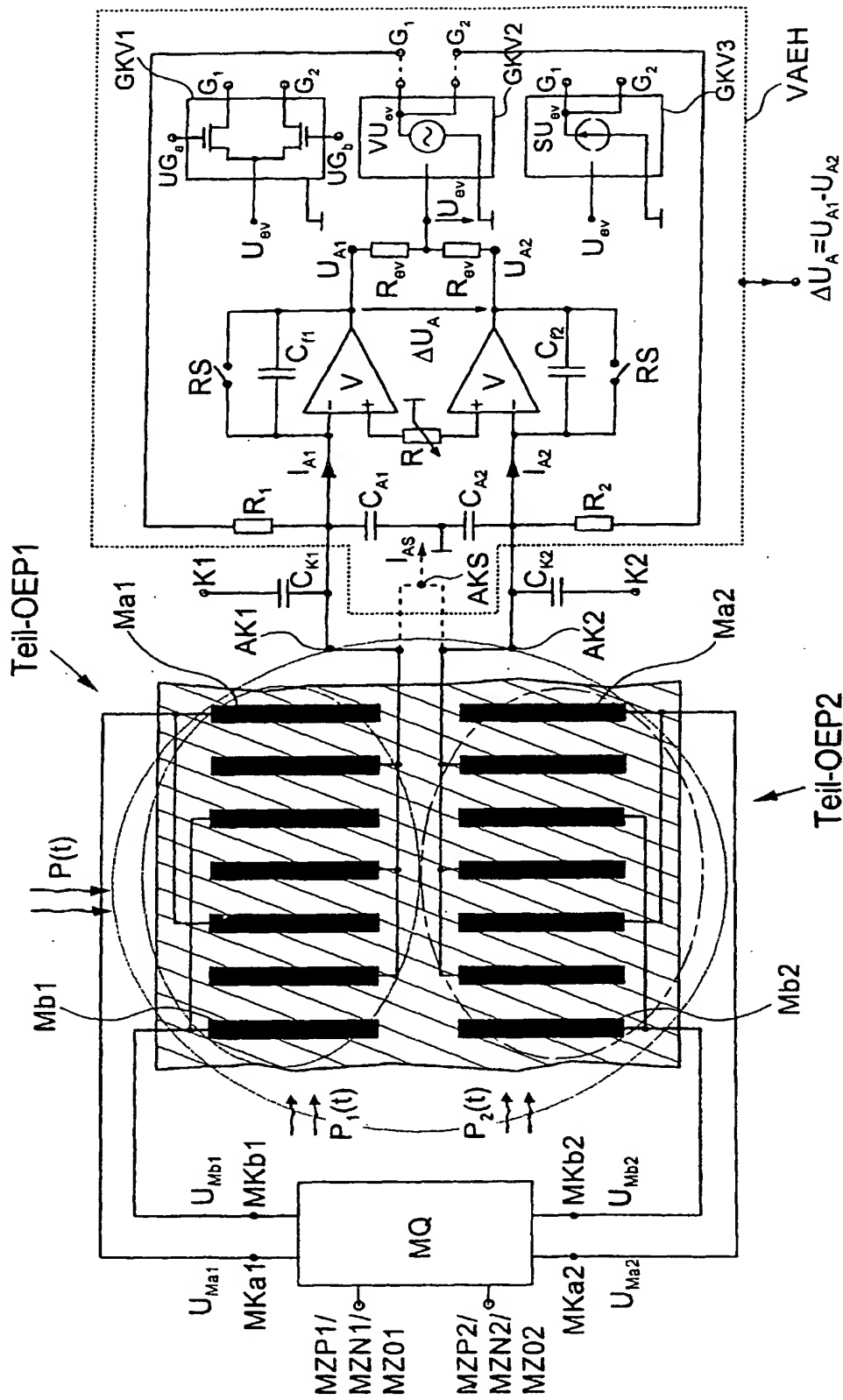


Fig. 2

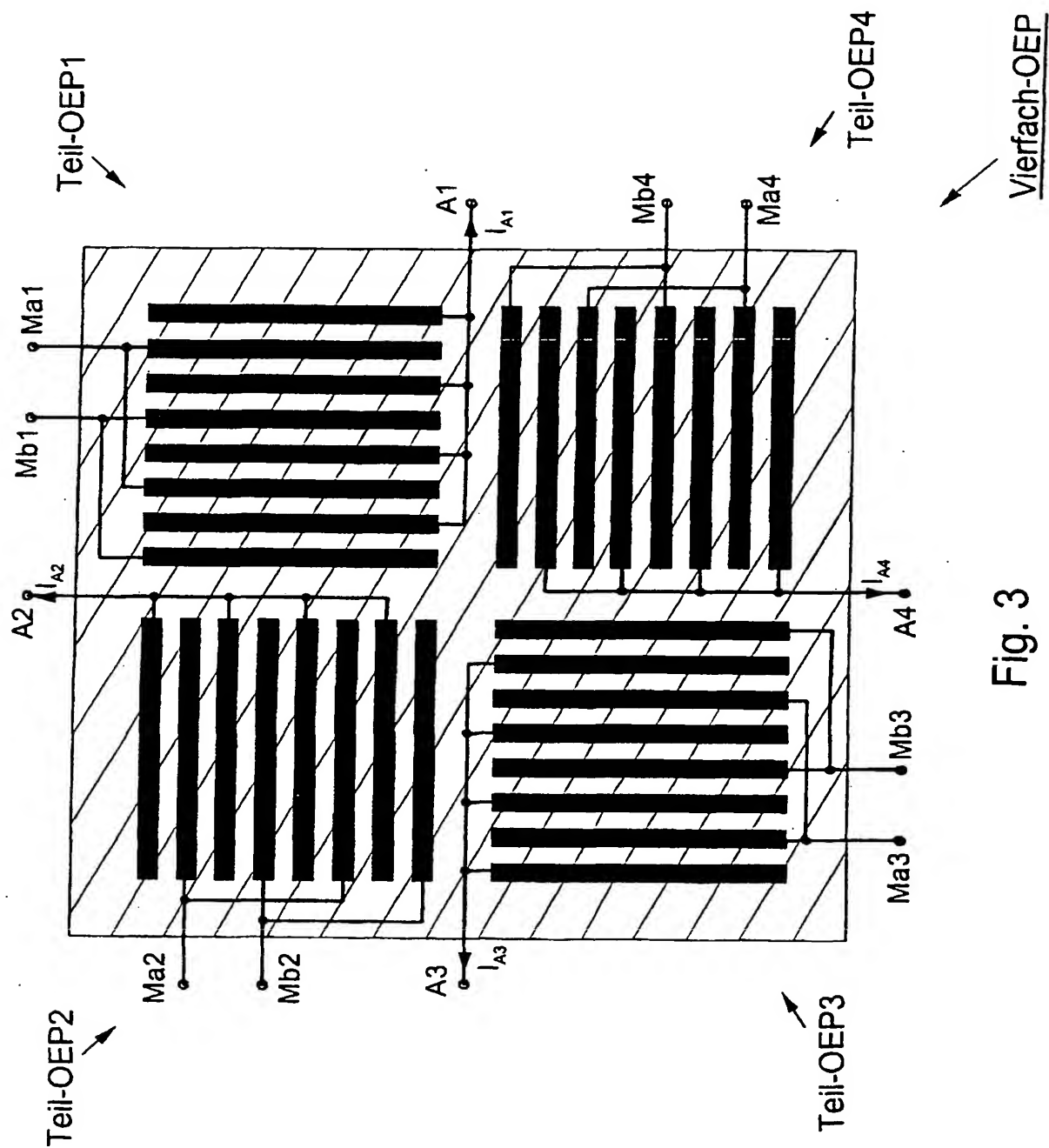


Fig. 3

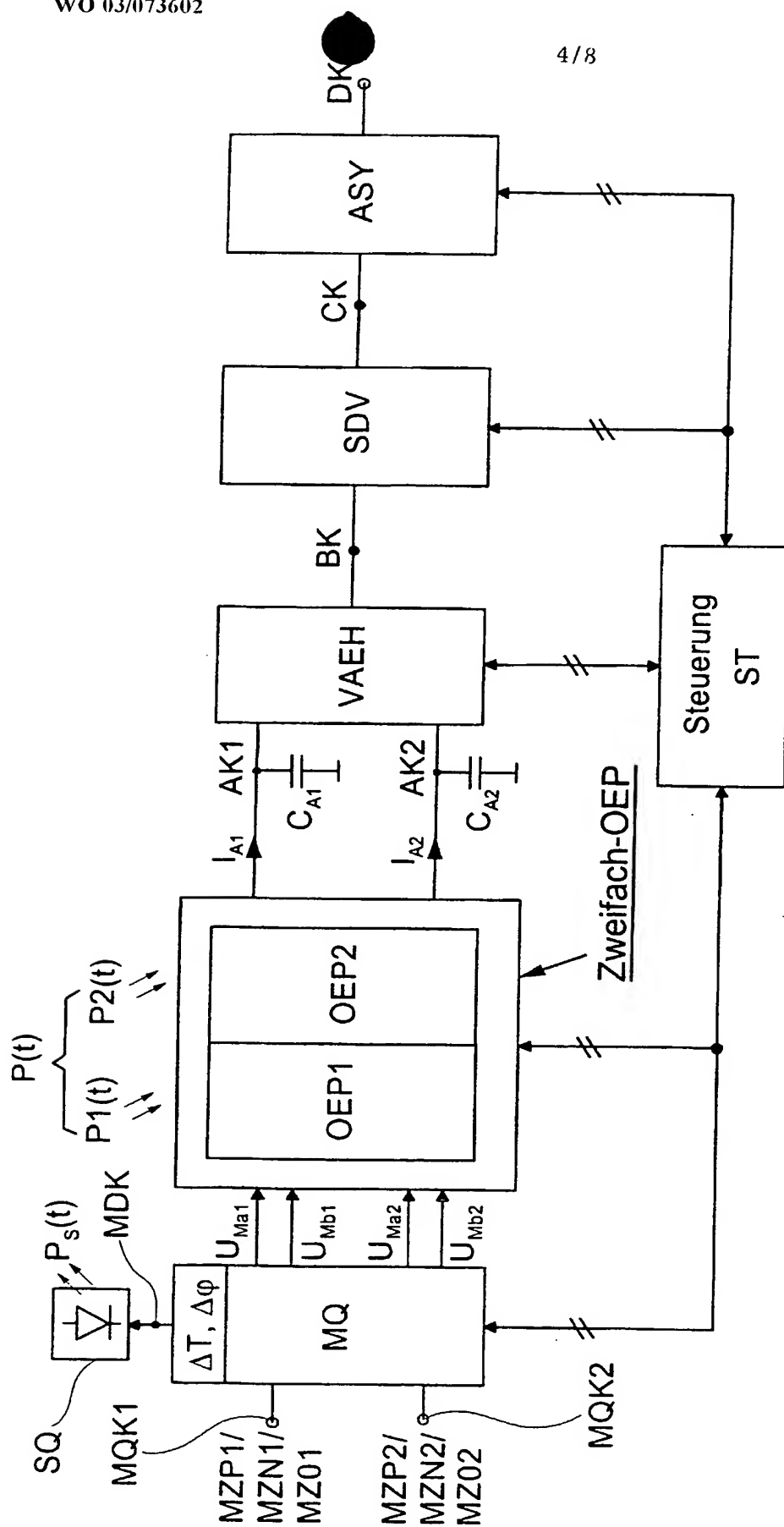


Fig. 4

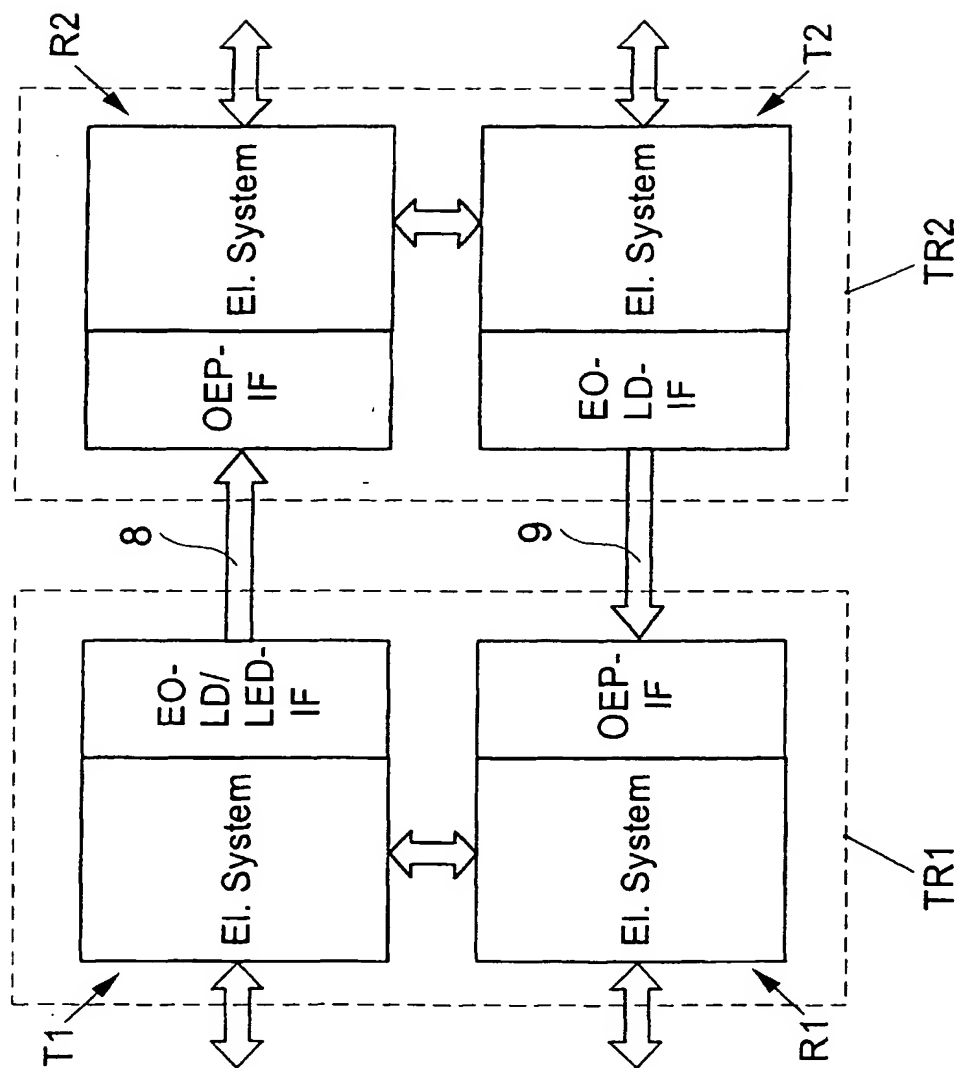


Fig. 5

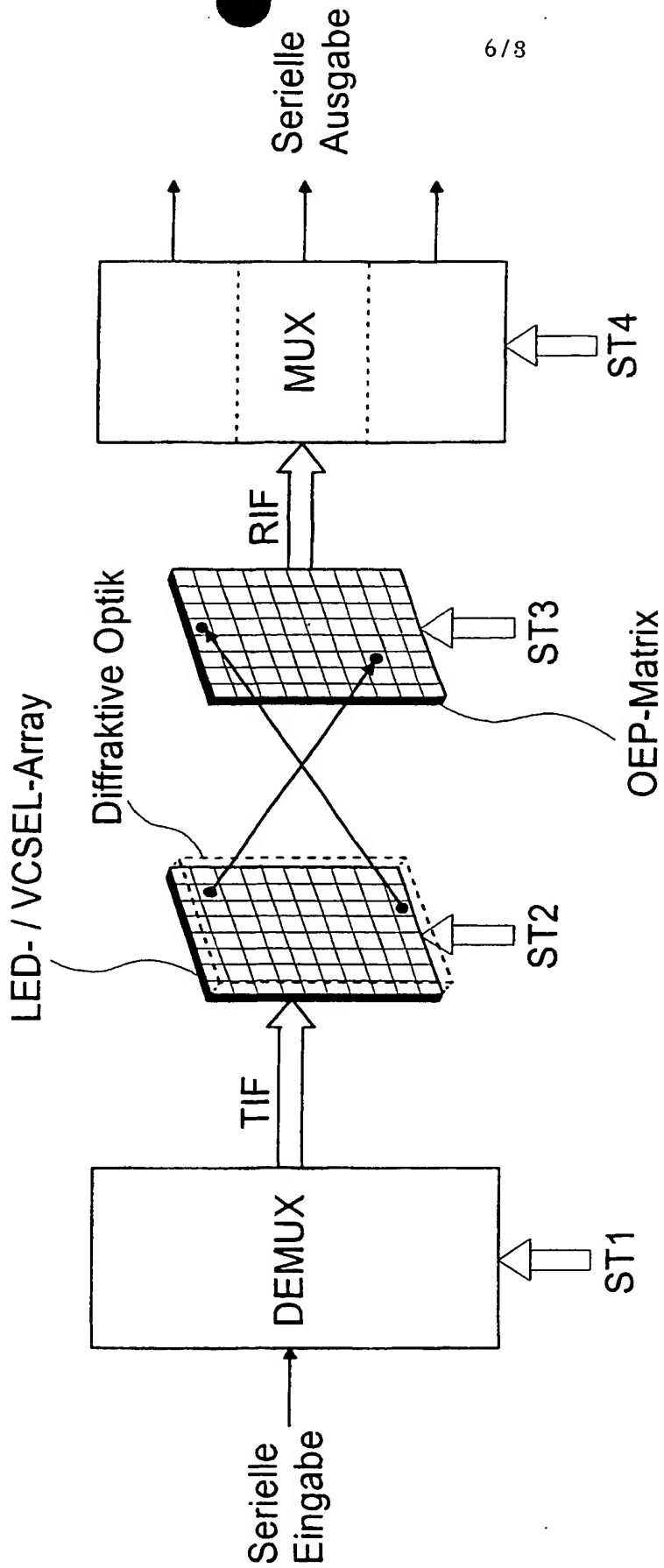


Fig. 6

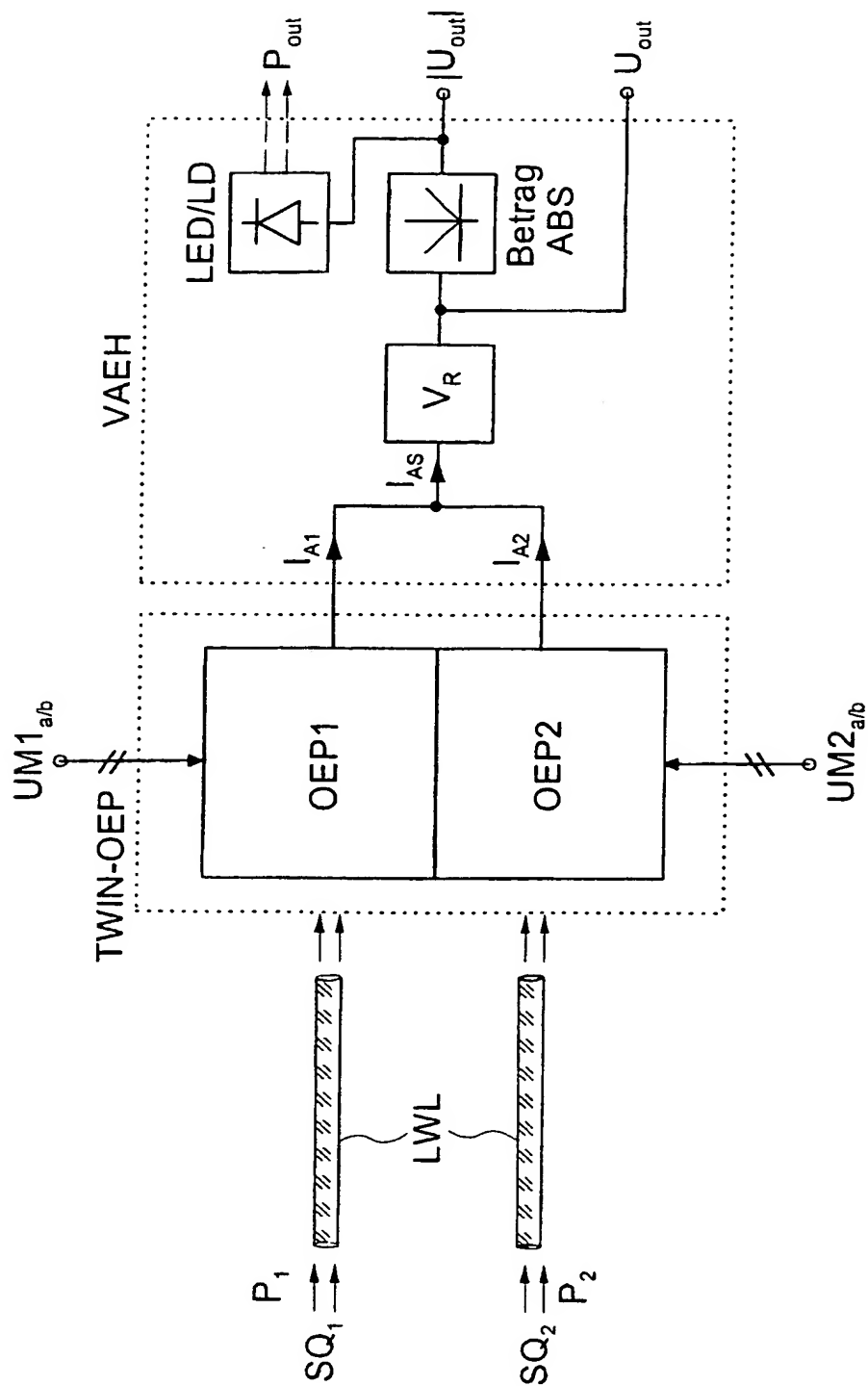


Fig. 7

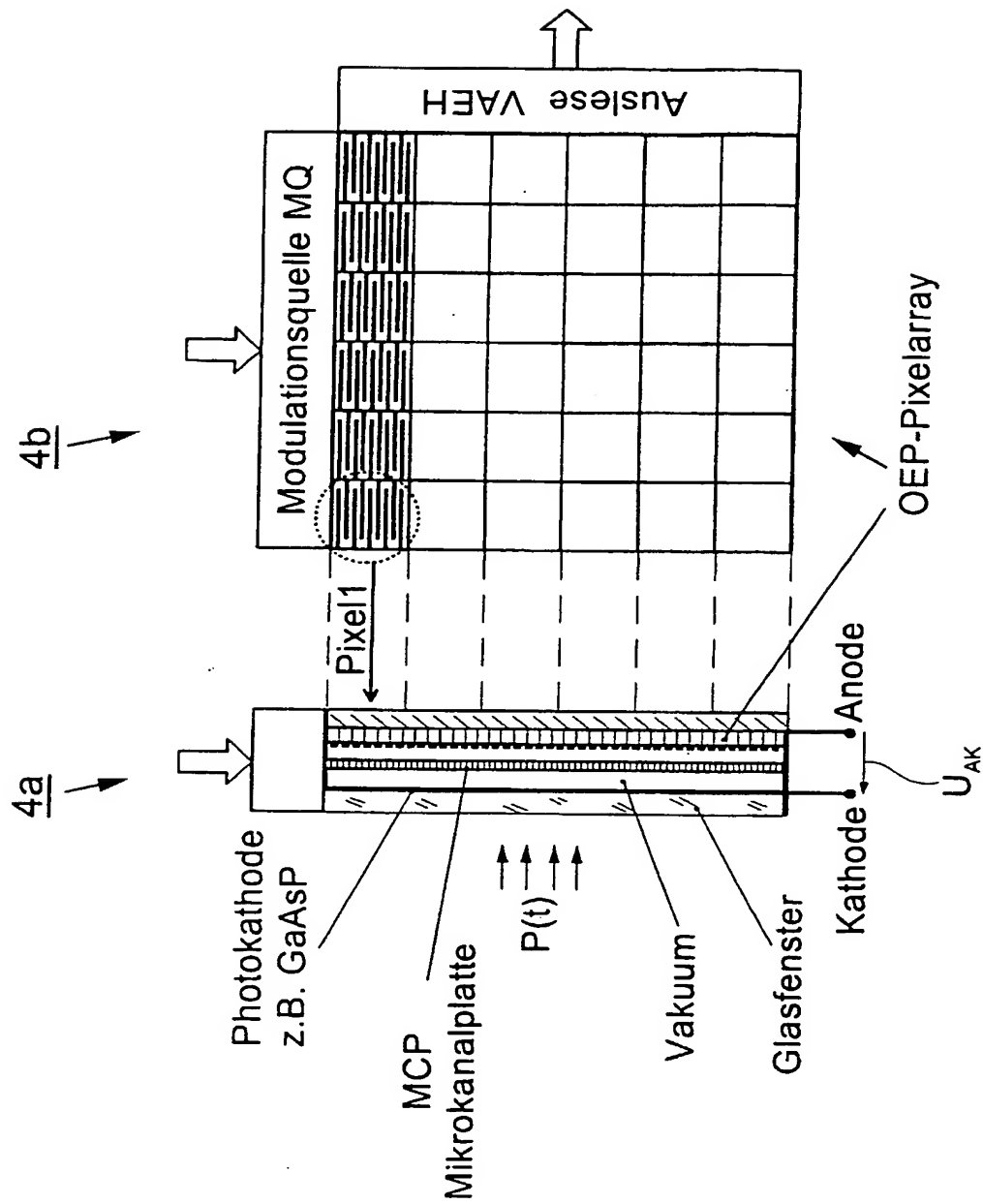


Fig. 8